

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBA PARA MOTORES
DC DE BAJA POTENCIA**

**CARLOS IVAN MINOTTA PEÑALOZA
OSCAR RODRÍGUEZ QUIMBAYO**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2007**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBA PARA MOTORES
DC DE BAJA POTENCIA**

**CARLOS IVAN MINOTTA PEÑALOZA
OSCAR RODRÍGUEZ QUIMBAYO**

Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Mecatrónico

**Asesor
Ingeniero Electrónico
ROBERTO BOHÓRQUEZ**

**UNIVERSIDAD DE SAN BUENVENTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BOGOTÁ, D.C.
2007**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. noviembre de 2007

Dedicatoria:

A nuestros padres por el gran esfuerzo que realizan día a día por formarnos como personas de bien y darnos oportunidades de salir adelante en un mundo que requiere cada día mejores seres humanos.

A todos los ingenieros que han contribuido al estudio y desarrollo de sistemas de medición para máquinas eléctricas.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros más sinceros agradecimientos a:

Ingeniero Roberto Bohórquez, Ingeniero y asesor del proyecto, por sus valiosas orientaciones y compromiso que asumió durante la realización.

Ingeniero Alfonso Duque, Ingeniero que con su amplio conocimiento en máquinas eléctricas, contribuyó con el desarrollo del proyecto.

Nelson Zuica, Técnico en máquinas herramientas, por su orientación durante la construcción de la plataforma mecánica del banco de pruebas.

A los ingenieros: Luis Andrés Rodríguez, Baldomero Méndez, Gregorio Rubinstein, Patricia Carreño, Héctor Vega, Jorge López, Carlos González, y demás profesores del programa de ingeniería mecatrónica, quienes contribuyeron a nuestra formación no sólo como ingenieros sino como personas de bien.

TABLA CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.1 ANTECEDENTES	13
1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.3 JUSTIFICACIÓN	15
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.4.1 Objetivo general	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	17
1.5.1 Alcances	17
1.5.2 Limitaciones	17
2 MARCO DE REFERENCIA	18
2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	18
2.1.1 Rotor	18
2.1.2 Estator	19
2.1.3 Clases de motores	20
2.1.4 Encoder	21
2.1.5 Galgas extensiométricas	23
2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO	27
3 METODOLOGÍA	28

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	28
3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	29
3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	30
3.4 HIPÓTESIS	31
3.5 VARIABLES	32
3.5.1 Variables independientes	32
3.5.2 Variables dependientes	32
4. DESARROLLO INGENIERIL	33
4.1 PLANTEAMIENTO GENERAL	33
4.1.1 Diagrama de funcionamiento general	34
4.2 DESARROLLO ELECTRÓNICO	35
4.2.1 Microcontrolador 16F877A	35
4.2.2 Diagrama de flujo funcionamiento electrónico	36
4.2.3 Diagrama de flujo interrupción	37
4.2.4 Diagrama de flujo prueba con cargas	38
4.2.5 Esquemático general de conexiones	40
4.2.6 Galga	40
4.2.7 Conexiones y esquemáticos	44
4.2.8 Desarrollo del software del microcontrolador 16F877A	46
4.2.9 Desarrollo del software en Matlab	61
4.2.10 Código en Matlab	63
4.2.11 Trazado del circuito impreso	64

4.3 PLATAFORMA MECÁNICA	65
4.3.1 Alineación de ejes	66
4.3.2 Piezas que conforman la plataforma mecánica	67
5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	100
6. CONCLUSIONES	105
7. RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFÍA	107

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: encoder.	22
Figura 2: galga extensiométrica.	23
Figura 3: tensión y esfuerzo.	23
Figura 4: medio puente.	24
Figura 5: compensación de temperatura.	25
Figura 6: un cuarto de puente.	25
Figura 7: medio puente.	26
Figura 8: diagrama de pines del microcontrolador PIC16F877A	35
Figura 9: esquemático de conexiones al microcontrolador.	40
Figura 10: acondicionamiento de la señal de la galga con $R= 100\Omega$.	41
Figura 11: gráfica comportamiento de la galga.	42
Figura 12: acondicionamiento de la señal de la galga con $R= 68\Omega$.	42
Figura 13: Energización del motor y medición del voltaje.	44
Figura 14: Fuente de voltaje.	45
Figura 15: generador y banco de relés.	45
Figura 16: trazado del circuito impreso	64
Figura 17: vista isométrico banco de pruebas.	65
Figura 18: alineación y anclaje del motor.	66
Figura 19: partes bando de pruebas	67
Figura 20: soporte.	69
Figura 21: ancla posicionador en eje X.	70
Figura 22: varilla guía posicionador en eje X	71
Figura 23: eje guía posicionador en eje x	71
Figura 24: manija	72
Figura 25: perilla de la manija.	72
Figura 26: Buje frontal varilla guía posicionador en eje X.	73
Figura 27: buje eje guía posicionador en eje X.	73
Figura 28: buje posterior varilla guía posicionador en eje X.	74
Figura 29: platina intersección ejes XZ.	75
Figura 30: posicionador en eje X.	76
Figura 31: unión lateral posicionador en eje X	77
Figura 32: platina superior posicionador en eje X	78
Figura 33: varilla guía posicionador en eje Z	79
Figura 34: eje guía posicionador en eje Z	79
Figura 35: buje varilla guía posicionador en eje Z	80
Figura 36: buje eje guía posicionador en eje Z.	81
Figura 37: posicionador en eje Z	82

Figura 38: unión lateral posicionador en eje Z	83
Figura 39: varilla guía posicionador en eje Y	84
Figura 40: eje guía posicionador en eje Y.	85
Figura 41: buje varilla guía posicionador en eje Y.	86
Figura 42: buje eje guía posicionador en eje Y	86
Figura 43: posicionador en eje Y	87
Figura 44: ancla superior del motor	88
Figura 45: ancla inferior del motor	89
Figura 46: esfuerzo ancla superior del motor	90
Figura 47: refuerzo ancla inferior del motor.	91
Figura 48: buje ancla superior del motor.	92
Figura 49: tornillo sujetador del motor.	93
Figura 50: sujetador del motor.	94
Figura 51: ancla del generador	95
Figura 52: buje frontal del generador.	96
Figura 53: buje posterior del generador	97
Figura 54: buje ancla del encoder	98
Figura 55: barra torsora	99
Figura 56: grafica de torque vs velocidad angular.	103
Figura 57: grafica de potencia vs velocidad angular.	104

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: distribución de las piezas del motor.	18
Tabla 2: comprobación de linealidad de la galga.	41
Tabla 3: visualización en LCD según el peso en la galga.	43
Tabla 4: partes de la plataforma mecánica.	68
Tabla 5: formato para graficar características del motor.	100
Tabla 6: resultados obtenido en mediciones con el banco de pruebas.	101

INTRODUCCIÓN

El diseño e innovación de algunos mecanismos utilizados para tareas donde se requiere bajo consumo de potencia, implica la utilización de motores de menos de $\frac{1}{4}$ hp que se pueden adquirir fácilmente a muy bajo costo, sin conocer las características técnicas del motor esencialmente cuando es de segunda mano.

Los motores dc desde su invención, han sido implementados en todo tipo de maquinaria, tanto en sectores industriales como en los aparatos de uso cotidiano, usándose para convertir la energía eléctrica en mecánica. En la actualidad, la mayoría de procesos tienden a ser automatizados siendo más eficientes y seguros. Al motor dc como elemento final de control, se le deben conocer las características principales para utilizarlo eficientemente.

Al no conocer los datos técnicos del motor, hay la necesidad de recurrir al tedioso método de ensayo y error para observar si el motor puede transmitir la potencia necesaria al mecanismo para que cumpla la tarea de la forma esperada. Una vez seleccionado el motor por simple observación no garantiza un buen funcionamiento del sistema, entonces he ahí los malos resultados y la frustración de un sistema hecho empíricamente o por cacharrería, que difícilmente se podrá controlar por no conocer muy bien las características técnicas del motor seleccionado para la transmisión de potencia.

Teniendo en cuenta que no siempre se conocen los datos técnicos del motor que más se acerca a los requerimientos de diseño, y que la evolución tecnológica exige que los sistemas tengan control eficiente, este proyecto plantea la construcción de un banco de pruebas para motores dc con potencia menor a $\frac{1}{4}$ hp, para determinar las características principales de forma rápida y eficiente.

El banco tendrá un elemento de carga para el motor con el cual se realizarán las pruebas de torque y velocidad angular necesarias para obtener un modelo matemático del motor que consta de parte resistiva e inductiva. El elemento se acoplará al eje del motor de prueba y tendrá algunos sensores para medir las revoluciones por minuto (rpm), torque y potencia consumida. Una vez anclado el sistema motor-generator, el sistema será comandado desde un ordenador, donde finalmente por medio de un software se conocerán los resultados.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

Frecuentemente se tiene a disposición motores que podrían ser útiles para algunos proyectos, los cuales no pueden ser desarrollados con éxito debido a que no se tienen datos técnicos del motor. Por eso es más importante conocer las características de los motores y así poder seleccionar el más eficiente.

Los fabricantes normalmente dan a conocer las características técnicas de los motores, pero cuando no conocemos las referencias de los motores, para caracterizarlos es indispensable tener dos motores iguales. Los fabricantes de motores dc tienen sus respectivos bancos de pruebas para caracterizar los motores que fabrican, bancos que no son comerciales debido a que se solo basta saber la referencia del motor para que el fabricante nos solicite la carta técnica.

La búsqueda de antecedentes de bancos de pruebas a nivel internacional no aportó ninguna información puesto que solo se encontraron bancos de pruebas para motores de combustión los cuales son usados por fabricantes de automóviles y motocicletas.

Actualmente los bancos de pruebas para motores de combustión han sido la mayor ayuda para los fabricantes de motores que son destinados para competencias tales como la Formula 1 y Rally Dakar, donde la exigencia es máxima.

En caso de no conocer la referencia del motor, normalmente cuando son de segunda mano, es indispensable analizarlo y determinar sus características principales para utilizarlo adecuadamente como elemento final de control.

1.2 DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN

Los motores d.c. de baja potencia son los más utilizados en el desarrollo de la robótica y otros mecanismos que no involucran trabajos pesados. El alto costo de los motores d.c. conlleva a utilizar motores de segunda mano acerca de los cuales pocas veces se pueden conocer datos técnicos y su estado real. En consecuencia se recurre al procedimiento de ensayo y error con el mecanismo en el que se desea utilizar, ocasionando pérdidas de tiempo, dinero y un posible deterioro del mecanismo o sistema en el cual se desea probar el motor.

Aún con el procedimiento de ensayo y error, difícilmente se puede asegurar que la mejor opción es utilizar el motor que mejor respondió a exigencias del sistema. Por tal motivo, es necesario conocer los datos técnicos de cada motor. Pero desafortunadamente la mayoría de las veces no se tiene dicha información, y tampoco se dispone de un sistema que permita determinar las características del motor. Dichos inconvenientes, hacen necesario la construcción de un banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia.

Al diseñar un sistema de control automático en donde hay la necesidad de conocer el modelo matemático de los motores d.c. que se va a utilizar, es necesario plantear el interrogante, ¿Cuál es la mejor forma de caracterizar un motor d.c. de baja potencia?

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es necesario realizar un control preciso en sistemas que comúnmente utilizan motores d.c. para garantizar el correcto funcionamiento y la estabilidad. Cuando se habla de elementos finales de control normalmente son motores, los cuales suministran la energía mecánica al sistema.

Teniendo en cuenta que en todo tipo de maquinaria y en la robótica los motores son los elementos más importantes debido a que siempre se controlan variables, por esta razón es muy importante conocerlos y caracterizarlos correctamente. Con el banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia, se puede realizar pruebas para determinar correctamente las principales características técnicas del motor, tales como la velocidad angular, torque y potencia requerida.

El proyecto es importante debido a que brinda al usuario la posibilidad de conocer las características principales del motor, al cual se le hacen las pruebas, de esta manera el usuario puede determinar un uso adecuado en una determinada aplicación.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Diseñar y construir un banco de pruebas que permita medir las características técnicas de motores d.c. de baja potencia.

1.4.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema para sensar las revoluciones y el torque de cualquier motor de baja potencia.
- Construir un sistema para sensar las revoluciones y el torque de cualquier motor de baja potencia.
- Diseñar un sistema de adquisición de datos para el envío de mediciones al PC.
- Construir un sistema de adquisición de datos para el envío de mediciones al PC.
- Diseñar un mecanismo universal para adaptar cualquier tipo de motor de baja potencia al banco de pruebas.
- Construir un mecanismo universal para adaptar cualquier tipo de motor de baja potencia al banco de pruebas.
- Desarrollar un software para la interpretación y análisis de datos obtenidos en el banco de pruebas.
- Caracterizar los motores de d.c. que se va a probar.

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.5.1 Alcances

Este proyecto se realizará con el fin de estudiar las características más importantes en todo tipo de motores dc de baja potencia, con el cual se verán beneficiados todos los estudiantes de ingeniería, ingenieros y técnicos que trabajen en el área de diseño, mantenimiento y construcción de mecanismos que usen motores de baja potencia.

El banco de pruebas para motores dc de baja potencia se diseñará y construirá en su totalidad cumpliendo con los objetivos planteados.

En Colombia se promoverá el desarrollo de prototipos en el área de robótica debido a que se tendrá plena seguridad en cuanto a moldeamientos para realizar un control de precisión en los diferentes sistemas.

1.5.2 Limitaciones

La principal limitante para realizar este proyecto es la poca precisión que brindan las diferentes máquinas herramientas que se encuentran en el centro de maquinado con el que cuenta la universidad. La falta de precisión en las piezas realizadas se verá reflejada con problemas de calibración.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Hoy en día se pueden observar algunos clásicos micromotores DC (Direct Current) o también llamados CC (corriente continua) de los usados generalmente en robótica. Los hay de distintos tamaños, formas y potencias, pero todos se basan en el mismo principio de funcionamiento.

Accionar un motor DC es muy simple y sólo es necesario aplicar la tensión de alimentación entre sus bornes. Para invertir el sentido de giro basta con invertir la alimentación y el motor comenzará a girar en sentido opuesto.

A diferencia de los motores paso a paso y los servomecanismos, los motores DC no pueden ser posicionados y/o enclavados en una posición específica. Estos simplemente giran a la máxima velocidad y en el sentido que la alimentación aplicada se los permite. (Ver tabla 1)

Tabla 1: distribución de las piezas del motor.

ROTOR	ESTATOR
Eje	Armazón
Núcleo y devanado	Imán permanente
Colector	Escobillas y portaescobillas
	Tapas

2.1.1 Rotor: constituye la parte móvil del motor, proporciona el torque para mover a la carga.

El rotor está formado por:

Eje: formado por una barra de acero fresada. Imparte la rotación al núcleo, devanado y al colector.

Núcleo: se localiza sobre el eje. Fabricado con capas laminadas de acero, su función es proporcionar un trayecto magnético entre los polos para que el flujo magnético del devanado circule.

Las laminaciones tienen por objeto reducir las corrientes parásitas en el núcleo. El cero del núcleo debe ser capaz de mantener bajas las pérdidas por histéresis.

Este núcleo laminado contiene ranuras a lo largo de su superficie para albergar al devanado de la armadura (bobinado).

Devanado: consta de bobinas aisladas entre sí y entre el núcleo de la armadura. Estas bobinas están alojadas en las ranuras, y están conectadas eléctricamente con el colector, el cual debido a su movimiento rotatorio, proporciona un camino de conducción conmutado.

Colector: denominado también conmutador, está constituido de láminas de material conductor (delgas), separadas entre sí y del centro del eje por un material aislante, para evitar cortocircuito con dichos elementos. El colector se encuentra sobre uno de los extremos del eje del rotor, de modo que gira con éste y está en contacto con las escobillas. La función del colector es recoger la tensión producida por el devanado inducido, transmitiéndola al circuito por medio de las escobillas (llamadas también cepillos)

2.1.2 Estator: constituye la parte fija de la máquina. Su función es suministrar el flujo magnético que será usado por el bobinado del rotor para realizar su movimiento giratorio. El estator está formado por:

Armazón: denominado también yugo, tiene dos funciones primordiales: servir como soporte y proporcionar una trayectoria de retorno al flujo magnético del rotor y del imán permanente, para completar el circuito magnético.

Imán permanente: compuesto de material ferromagnético altamente remanente, se encuentra fijado al armazón o carcasa del estator. Su función es proporcionar un campo magnético uniforme al devanado del rotor o armadura, de modo que interactúe con el campo formado por el bobinado, y se origine el movimiento del rotor como resultado de la interacción de estos campos.

Escobillas: las escobillas están fabricadas de carbón, y poseen una dureza menor que la del colector, para evitar que éste se desgaste rápidamente. Se encuentran albergadas por los portaescobillas. Ambos, escobillas y portaescobillas, se encuentran en una de las tapas del estator.

La función de las escobillas es transmitir la tensión y corriente de la fuente de alimentación hacia el colector y, por consiguiente, al bobinado del rotor.

La función del portaescobillas es mantener a las escobillas en su posición de contacto firme con los segmentos del colector. Esta función la realiza por medio de resortes, los cuales hacen una presión moderada sobre las escobillas contra el colector. Esta presión debe mantenerse en un nivel intermedio pues, de ser excesiva, la fricción desgastaría tanto a las escobillas como al colector; por otro lado, de ser mínima esta presión, se produciría lo que se denomina "chisporroteo",

que es cuando aparecen chispas entre las superficies del colector y las escobillas, debido a que no existe un buen contacto.

2.1.3 Clases de motores de corriente continua: el motor de corriente continua es una máquina que convierte la energía eléctrica en mecánica, principalmente mediante el movimiento rotativo. La principal característica del motor de corriente continua es la posibilidad de regular la velocidad desde vacío a plena carga.

Los motores de corriente continua se clasifican según la forma como estén conectados, en:

Motor serie: un motor serie es un tipo de motor eléctrico de corriente continua en el cual el devanado de campo (campo magnético principal) se conecta en serie con la armadura. Este devanado está hecho con un alambre grueso porque tendrá que soportar la corriente total de la armadura.

Debido a esto se produce un flujo magnético proporcional a la corriente de armadura (carga del motor). Cuando el motor tiene mucha carga, el campo de serie produce un campo magnético mucho mayor, lo cual permite un esfuerzo de torsión mucho mayor. Sin embargo, la velocidad de giro varía dependiendo del tipo de carga que se tenga (sin carga o con carga completa). Estos motores desarrollan un par de arranque muy elevado y pueden acelerar cargas pesadas rápidamente.

Motor compound: un motor compound (o motor de excitación compuesta) es un motor de corriente continua cuya excitación es originada por dos bobinados inductores independientes; uno dispuesto en serie con el bobinado inducido y otro conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido, inductor serie e inductor auxiliar.

Los motores compuestos tienen un campo serie sobre el tope del bobinado del campo shunt. Este campo serie, el cual consiste de pocas vueltas de un alambre grueso, es conectado en serie con la armadura y lleva la corriente de armadura.

El flujo del campo serie varía directamente a medida que la corriente de armadura varía, y es directamente proporcional a la carga. El campo serie se conecta de manera tal que su flujo se añade al flujo del campo principal shunt. Los motores compound se conectan normalmente de esta manera y se denominan como compound acumulativo.

Esto provee una característica de velocidad que no es tan “dura” o plana como la del motor shunt, ni tan “suave” como la de un motor serie. Un motor compound

tiene un limitado rango de debilitamiento de campo; la debilitación del campo puede resultar en exceder la máxima velocidad segura del motor sin carga. Los motores de corriente continua compound son algunas veces utilizados donde se requiera una respuesta estable de par constante para un rango de velocidades amplio.

Motor shunt : el motor shunt o motor de excitación paralelo es un motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar.

Al igual que en las dinamos shunt, las bobinas principales están constituidas por muchas espiras y con hilo de poca sección, por lo que la resistencia del bobinado inductor principal es muy grande.

Motor eléctrico sin escobillas: un motor eléctrico sin escobillas es un motor eléctrico que no emplea escobillas para realizar el cambio de polaridad en el rotor.

Los motores eléctricos solían tener un colector de delgas o un par de anillos rozantes. Estos sistemas, que producen rozamiento, disminuyen el rendimiento, desprenden calor y ruido, requieren mucho mantenimiento y pueden producir partículas de carbón que manchan el motor de un polvo que, además, puede ser conductor.

Además de los anteriores, existen otros tipos que son utilizados en electrónica:

Motor paso a paso: el motor eléctrico paso a paso es un actuador conversor de tren de impulsos en movimiento angular giratorio. Existe para un motor eléctrico paso a paso un ángulo que define el desplazamiento mínimo que puede conseguirse.

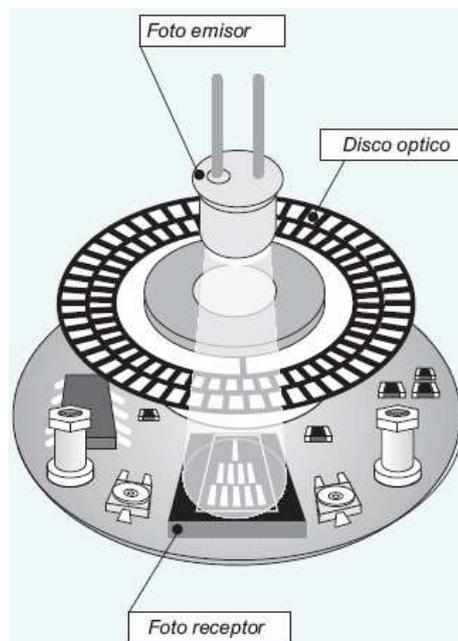
Servomotor: un servomotor (también llamado Servo) es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo, conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

2.1.4 Encoder: es un transductor rotativo que transforma un movimiento angular en una serie de impulsos digitales. Estos impulsos generados pueden ser utilizados para controlar los desplazamientos de tipo angular o de tipo lineal, si se asocian a cremalleras o a husillos. Las señales eléctricas de rotación pueden ser

elaboradas mediante controles numéricos (CNC), controladores lógicos programables (PLC), sistemas de control, etc. Las aplicaciones principales de estos transductores están en las máquinas herramientas o de elaboración de materiales, en los robots, en los sistemas de motores, en los aparatos de medición y control. En los encoders de producción ELTRA, la detección del movimiento angular se ejecuta en base al principio de exploración fotoeléctrica. El sistema de lectura se basa en la rotación de un disco graduado con un reticulado radial formado por líneas opacas, alternadas con espacios transparentes. Este conjunto está iluminado de modo perpendicular por una fuente de rayos infrarrojos. El disco proyecta de este modo su imagen sobre la superficie de varios receptores oportunamente enmascarados por otro reticulado que tiene el mismo paso del anterior llamado colimador. Los receptores tienen la tarea de detectar las variaciones de luz que se producen con el desplazamiento del disco convirtiéndolas en las correspondientes variaciones eléctricas (Ver figura 1).

La señal eléctrica detectada, para generar impulsos correctamente escuadrados y sin interferencias, debe ser procesada electrónicamente. Para incrementar la calidad y estabilidad de las señales, el sistema de lectura se efectúa generalmente de manera diferencial, comparando dos señales, eliminando de este modo las interferencias definidas “de modo común” porque están superpuestas de igual manera en toda forma de onda.

Figura 1: encoder



2.1.5 Galgas extensiométricas: consisten de un alambre muy fino, o más comúnmente un papel metálico arreglado en forma de rejilla como se muestra en la figura 2. Esta forma de rejilla permite aprovechar la máxima cantidad de material de la galga sujeto a la tensión a lo largo de su eje principal.

Figura 2: galga extensiométrica

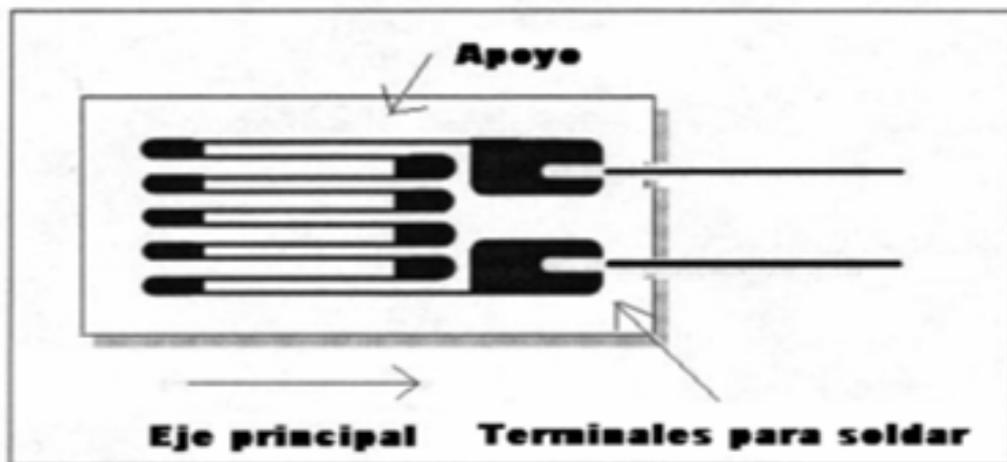


Figura 3: tensión y esfuerzo:

Tensión principal : $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$
Tensión transversal : $\epsilon_R = \frac{\Delta W}{W}$
Relación de Poisson : $\nu = \frac{\epsilon_T}{\epsilon}$

Factor de galga: el parámetro que define la sensibilidad de una galga se conoce como factor de galga GF, y es definido como el cociente entre el cambio fraccional de la resistencia eléctrica y la tensión ϵ . En la figura se aprecia el cálculo del factor de galga. El factor de galga al igual que la tensión ϵ es adimensional como se muestra en la figura 4.

Sensibilidad de galga

Factor de galga:

$$GF = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = \frac{\Delta R/R}{\epsilon}$$

- $GF = 2$ Para la mayoría de las galgas
- $3500 \mu \epsilon$ (.35 %) $\Rightarrow \Delta R/R = .7\%$

CONFIGURACIONES DE CIRCUITOS PUENTE:

El circuito más comúnmente empleado con galgas es el circuito puente. En la figura 4 se muestra la conexión de un circuito puente con una galga. La galga es colocada en una de las ramas del puente. La resistencia en la rama inferior se selecciona de manera que sea igual a la resistencia de la galga cuando no está siendo sometida a tensión. ($R_G = R_3$). Las dos resistencias restantes del puente se escogen iguales ($R_2 = R_1$). En las figuras de la 5 a la 7 se muestran diferentes configuraciones de puentes.

Figura 4: medio puente.

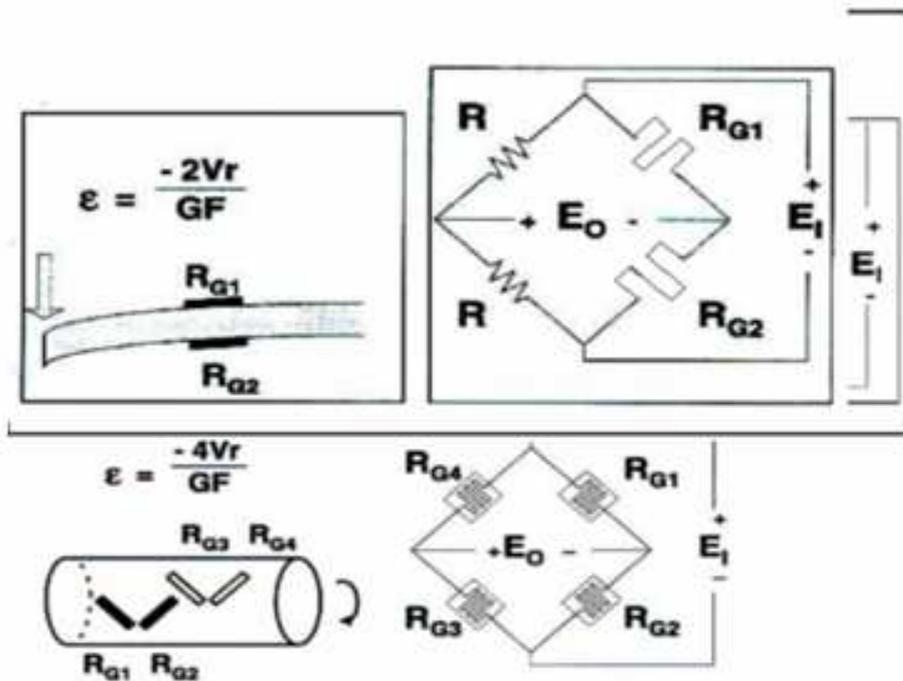
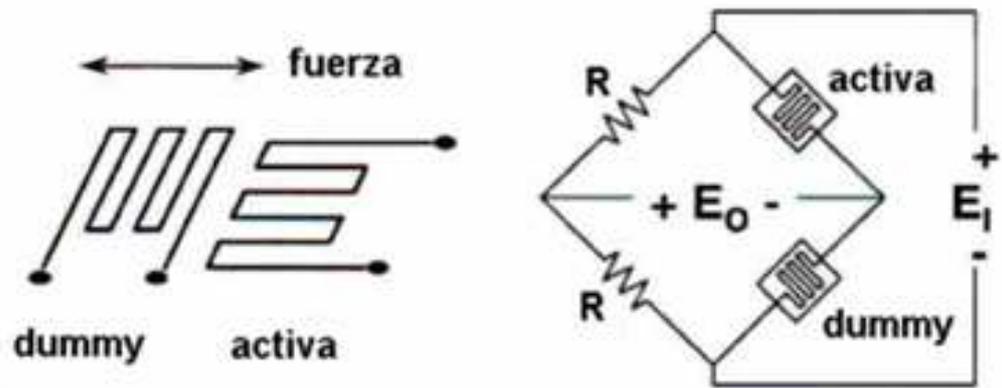


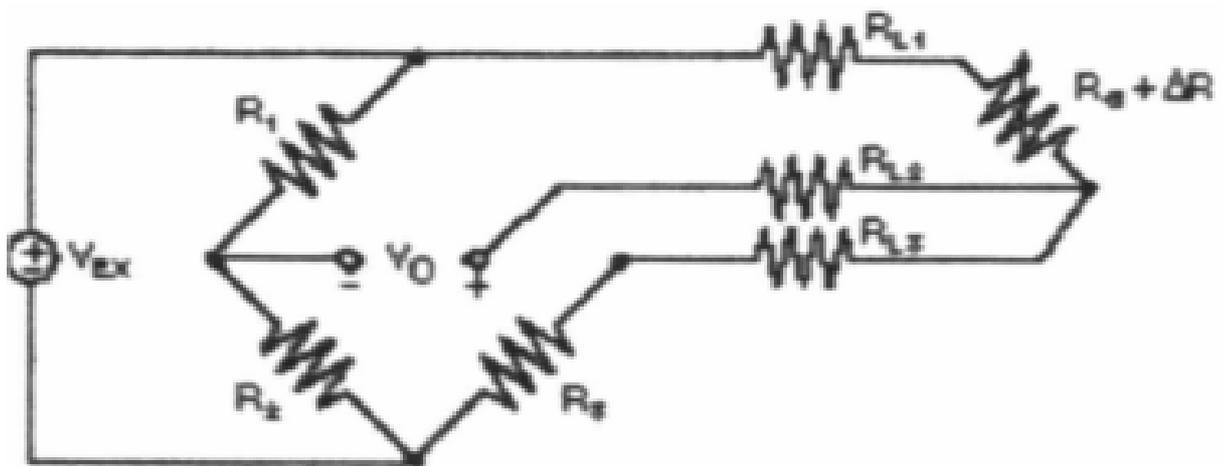
Figura 5: compensación de temperatura.



$$E_0 = \left[\frac{1}{2} - \frac{R_{dummy}}{R_{activa} + R_{dummy}} \right] \times E_1$$

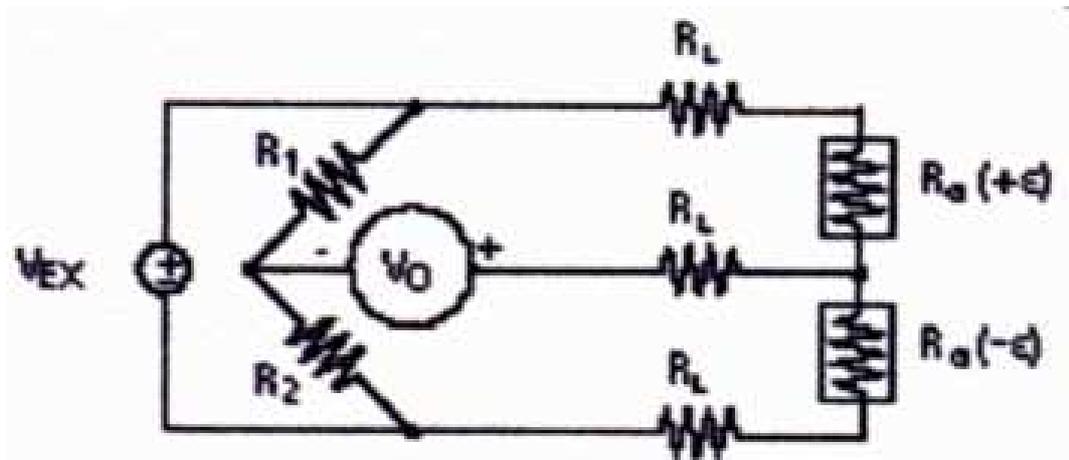
Reducción del efecto de los conductores:

Figura 6: Un cuarto de puente:



$$\varepsilon = \frac{-4V_r}{GF(1+2V_r)} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_a}\right)$$

Figura 7: medio puente:



$$\varepsilon = \frac{-2V_r}{GF} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_a}\right)$$

2.2 MARCO LEGAL O NORMATIVO

Para la construcción mecánica del banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia se estableció que el sistema de unidades sería el sistema internacional de medidas, con el cual se realizarían todas piezas y además todas las mediciones.

Los planos y demás muestras de la parte mecánicas están basados en normas ISO las cuales permiten dar claridad en vistas y cotas.

Debido a que la mayor parte de la electrónica está basada en un microcontrolador 16f788 se dice que la normatividad es basada en Microchip.

3. METODOLOGIA

3.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación tiene un enfoque empírico - analítico, en el cual se investiga acerca de cada elemento que se va a usar, construir o formar parte del banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia.

La construcción de la plataforma mecánica del banco de pruebas se baso en un diseño sencillo y versátil de un acople universal el cual permitiría anclar fácilmente cualquier tipo de motor d.c. de baja potencia.

El acople universal debería formar parte de una plataforma que permitiera el movimiento en los tres ejes de coordenadas, esto debido a las diferentes dimensiones de los ejes.

Debido a la cantidad de variables eléctricas que deben ser interpretadas en el banco de pruebas para motores d.c., se necesita un elemento con gran número de entradas y salidas, además con etapas de conversiones análogas a digitales, por esta razón se utiliza un microcontrolador con más de 34 pines.

La necesidad de que el usuario observe las mediciones y pueda saber con certeza sin necesidad de realizar mediciones por si mismo, crea la necesidad de usar un elemento electrónico el cual realice esta función.

La interpretación de datos es fundamental para la caracterización de cualquier motor d.c. que se pruebe, por esta razón se desarrolla un software que analice y muestre en grafica o tablas los resultados obtenidos de las mediciones.

3.2 LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

- Máquinas eléctricas.
- Instrumentos de medición.
- El motor dc como elemento final de control.

3.3 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se recolectó información por medio de instrumentos electrónicos de medición los cuales transforman una variable física en una señal eléctrica la cual es interpretada por un microcontrolador 16F877A.

Los principales instrumentos utilizados en la recolección de información son: un encoder que está anclado al eje del generador y este a su vez al eje del motor a probar, el encoder interpreta mediante pulsos una velocidad angular a la cual gira el sistema.

Se cuenta también con una galga extensiométrica la cual interpreta una deformación en su superficie y entrega un voltaje muy pequeño el cual debe ser amplificado alrededor de mil veces. Las demás mediciones se realizan observando caídas de voltaje o entradas de voltaje al sistema por medio de un microcontrolador.

3.4 HIPÓTESIS

Usando herramientas ingenieriles adecuadas para la caracterización de los motores d.c. de baja potencia, se logrará un gran ahorro de tiempo en el moldeamiento del elemento final de control, normalmente midiendo las rpm y la potencia manualmente se puede gastar más o menos una hora, sin embargo el torque es una variable casi imposible de medir la cual requiere de elementos especiales.

Con el banco de pruebas se tomaran todas las mediciones en un tiempo más o menos de 5 a 10 minutos, también garantiza exactitud en todo tipo de pruebas necesarias para determinar el optimo funcionamiento y adecuada aplicación.

3.5 VARIABLES

3.5.1 Variables independientes

Voltaje de entrada: se indica al microcontrolador mediante un switch si el voltaje que se va a utilizar es 12V o 24V.

3.5.2 Variables dependientes

Las principales variables que entran en las mediciones que realiza el banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia son:

La velocidad angular: se mide en eje del motor mediante un instrumento electrónico llamado encoder.

Corriente consumida por el motor: esta depende de carga a la cual este expuesto el motor, se mide sobre una resistencia de 2.2Ω en la cual se interpreta la caída de voltaje y se divide sobre la resistencia. Conociendo el voltaje de entrada al cual funciona el motor se puede determinar la potencia consumida.

Torque: Es la medición más complicada debido a que se debe variar la fuerza que hacer el motor por medio de una serie de cargas, cada vez que la carga sea más pequeña el motor se esforzara mas y nos dará un mayor torque.

4. DESARROLLO INGENIERIL

4.1 PLANTEAMIENTO GENERAL

Para la construcción del banco de pruebas es necesario tener en cuenta el tamaño promedio de los motores d.c. de menos de $\frac{1}{4}$ hp de potencia, y así poder pensar en los posibles materiales para la construcción del banco. La principal característica del banco es que se debe poder adaptar fácilmente a cualquier motor de baja potencia en un acople universal sin necesidad de cambiar ningún elemento del banco de prueba.

El banco de prueba debe ser una herramienta útil para los estudiantes de ingeniería e ingenieros en el desarrollo de proyectos que involucran mecanismos de trabajo liviano, que pueda ser transportado fácilmente al lugar de trabajo gracias a un diseño versátil, liviano, de gran precisión, fácil manejo y agradable para trabajar en cualquier entorno de trabajo.

El sistema será anclado en una mesa de trabajo la cual soportará los elementos de medición y también el motor a probar, la mesa deberá ser construida en un material resistente y liviano para facilitar su transporte, además debe ser ergonómico teniendo una altura que facilite el trabajo de una persona con estatura promedio. La mesa además de sostener los elementos de medición también aguantará una carga extra en caso de que las personas que estén realizando las mediciones por algún motivo se recarguen al banco.

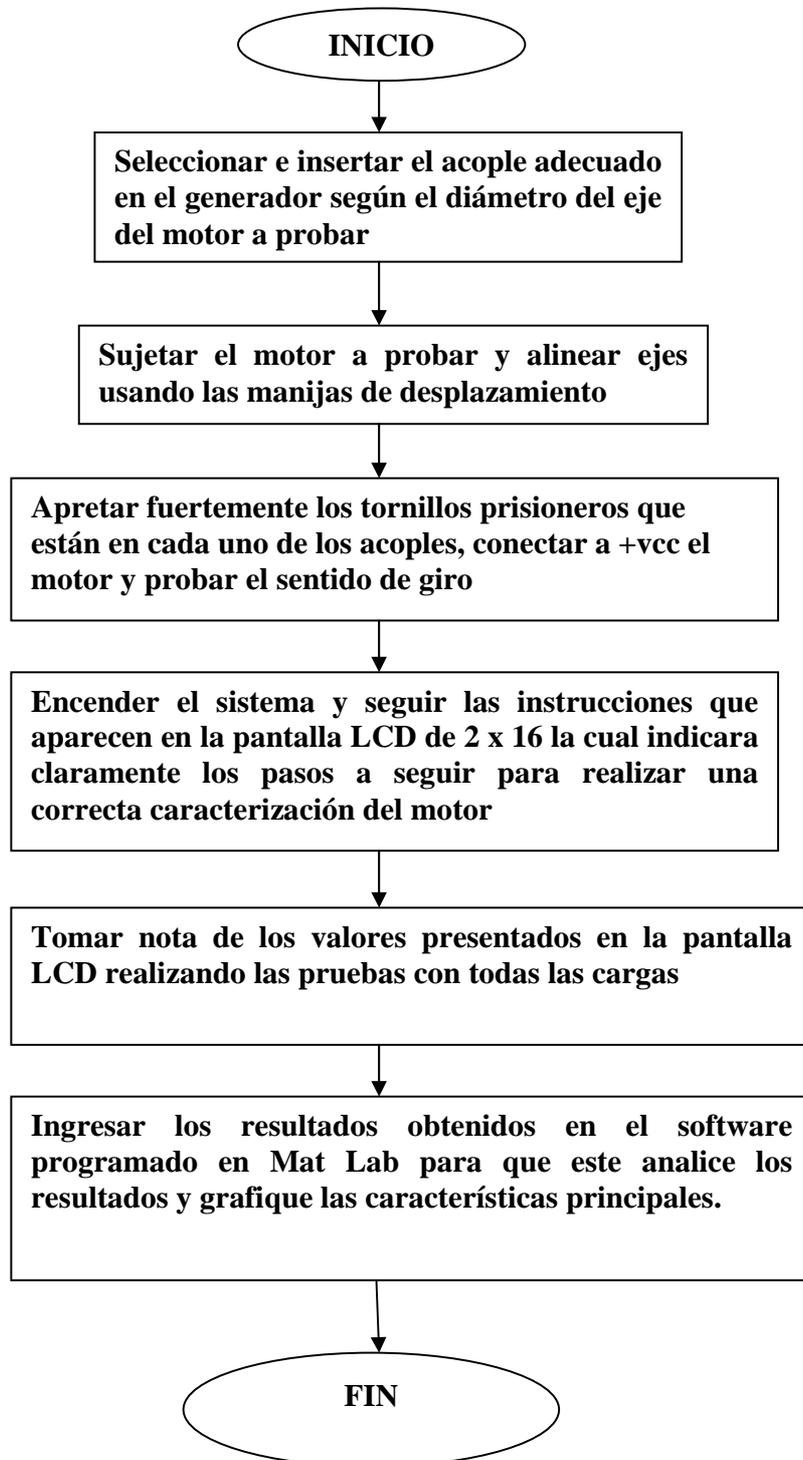
A la mesa se anclará un elemento que tendrá sensores para tomar datos de la potencia que transmite el motor al cuál se le están realizando las mediciones, todo esto posible gracias a la variación en la potencia suministrada por el elemento.

Frente al elemento de medición estará el anclaje universal para cualquier clase de motor d.c. de baja potencia que se desee analizar, en este anclaje es necesario un sensor para medir el torque producido por el motor en prueba. El eje del motor se acoplará a un eje por medio de un elemento mecánico que se adapte a cualquier diámetro de eje, cuyo material sea resistente al desgaste y a la corrosión. El acople tendrá un sensor para medir las revoluciones por minuto del motor.

Se realizará un proceso de adquisición de datos para enviarlos por medio de una interfaz al computador, donde se analizarán los resultados por medio del software, y de esta forma se determinarán las características principales del motor.

Pensando en las necesidades de los usuarios, hemos decidido desarrollar un software el cuál presente un entorno gráfico y de fácil manejo, el cuál especificará todas las mediciones.

4.1.1 Diagrama de funcionamiento general:



4.2 DESARROLLO ELECTRÓNICO

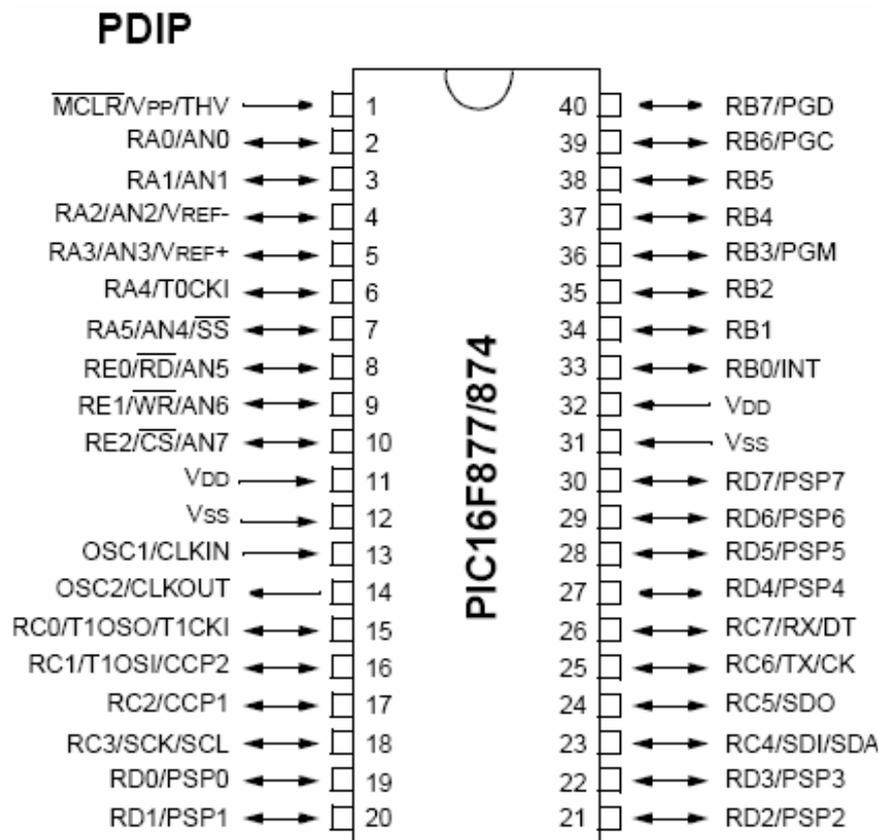
4.2.1 Microcontrolador 16F877A

Se desea realizar pruebas a motores d.c de baja potencia con el fin de caracterizarlos y determinar un uso adecuado de estos en proyectos de ingeniería.

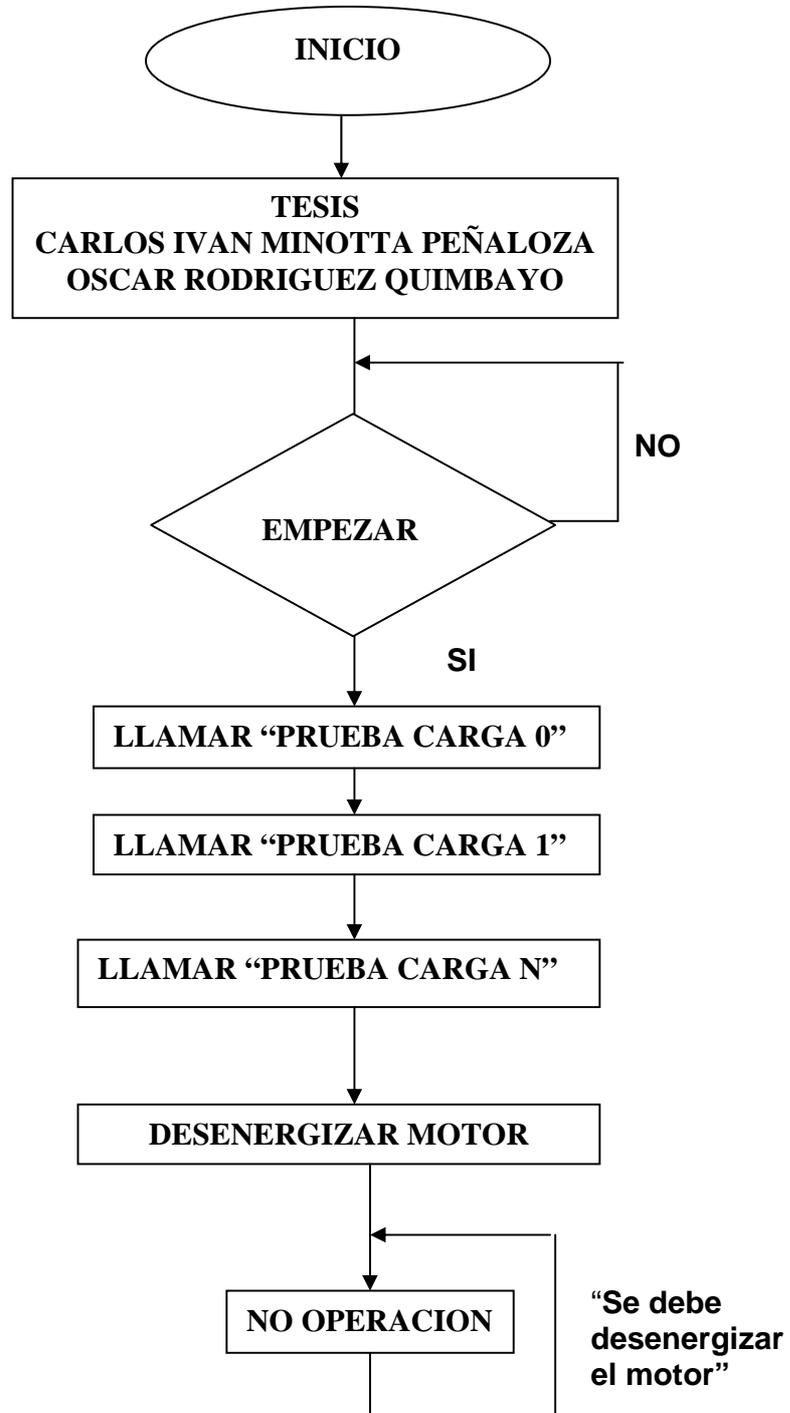
Descripción específica de el diagrama esquemático parte electrónica:

Se utiliza un microcontrolador PIC16F877A (ver figura 8), el cual brinda la posibilidad de adquirir datos usando puertos para conversiones análogas digitales.

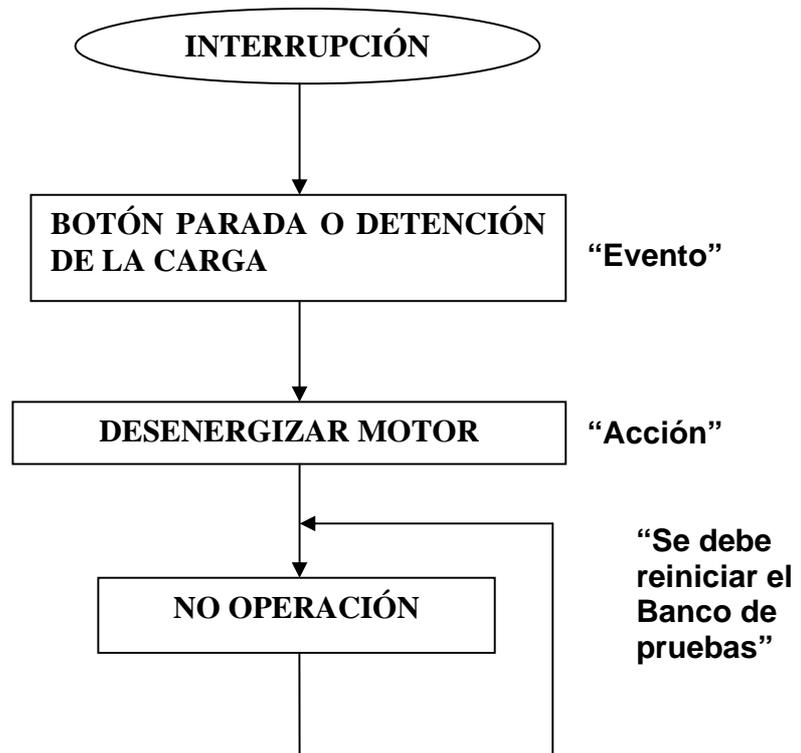
Figura 8: diagrama de pines del microcontrolador PIC16F877A



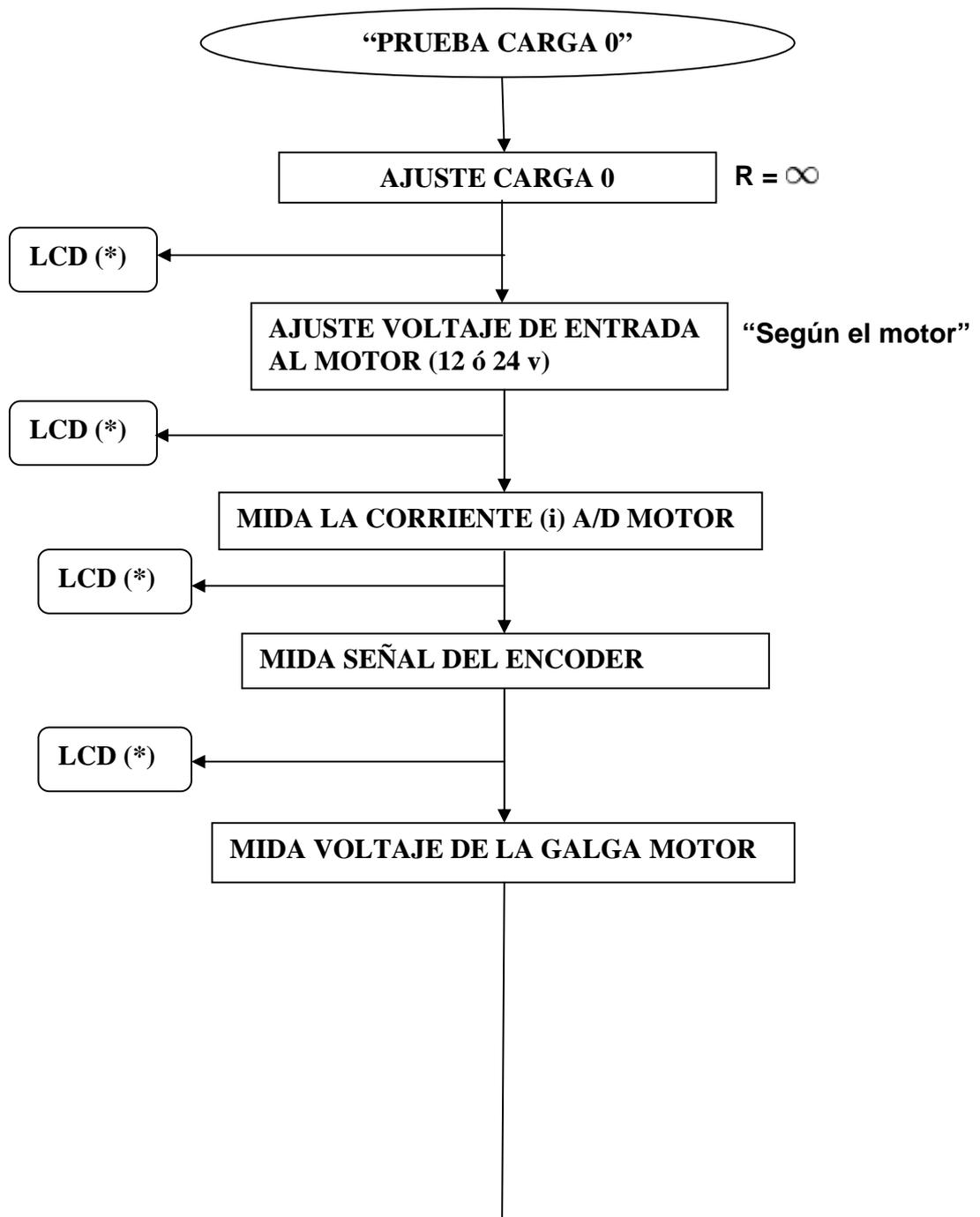
4.2.2 Diagrama de flujo funcionamiento electrónica:

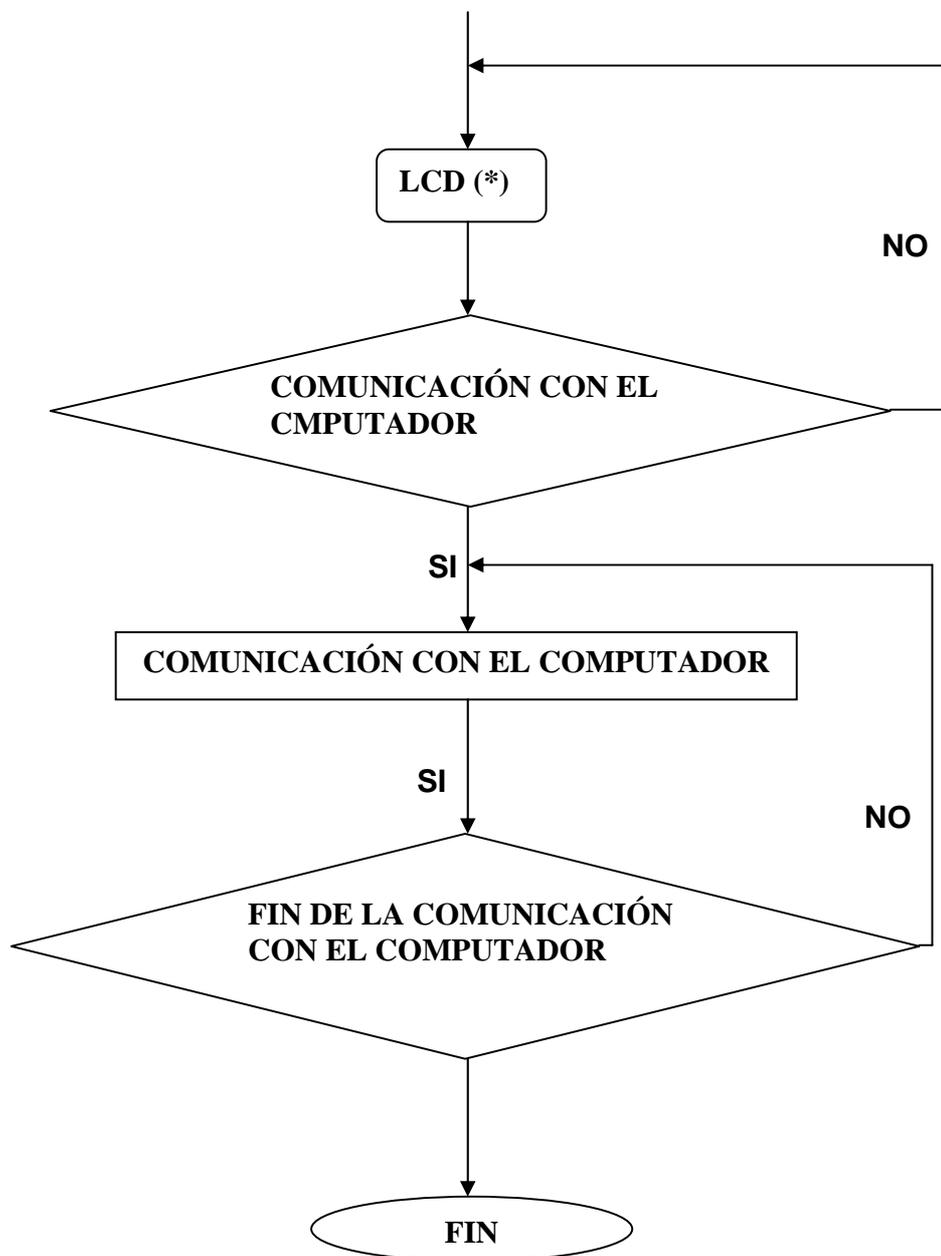


4.2.3 Diagrama de flujo Interrupción:



4.2.4 Diagrama de flujo Prueba con cargas:

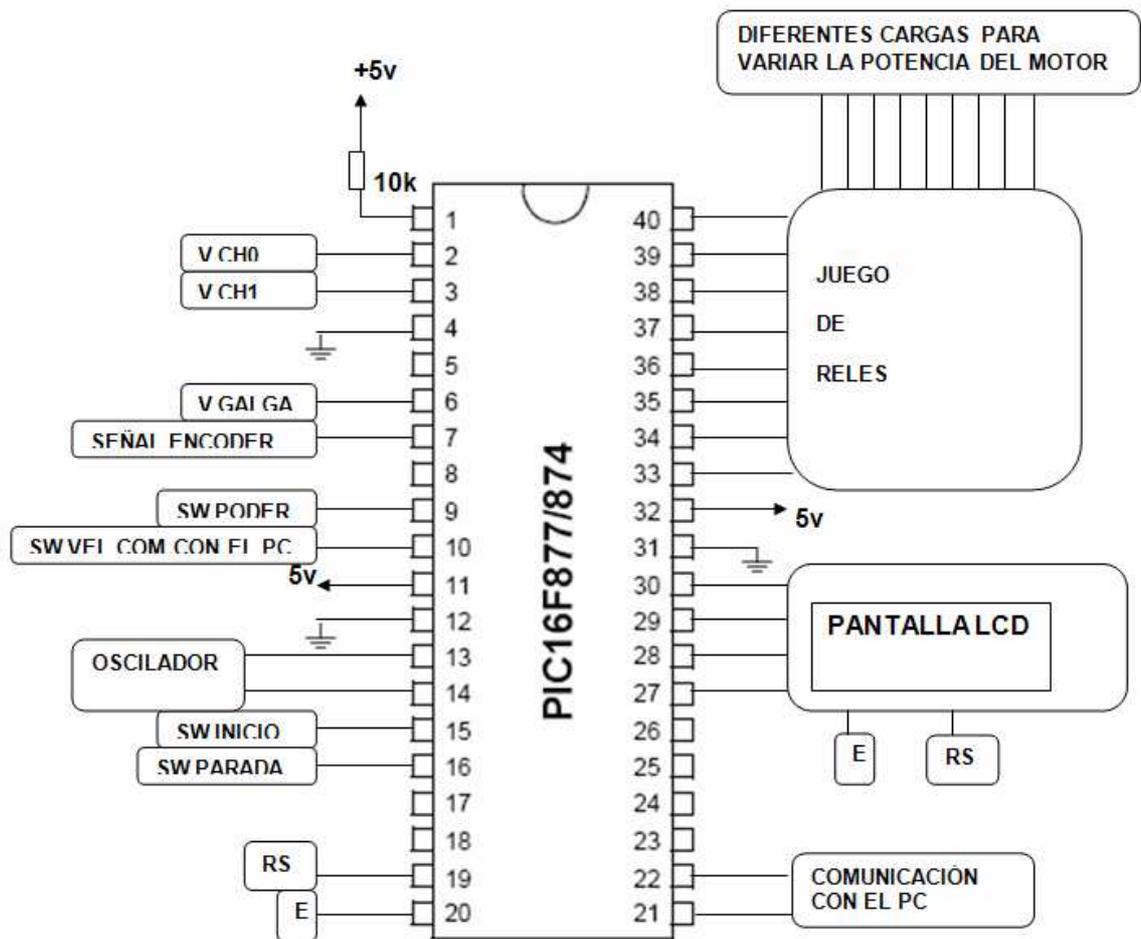




4.2.5 Esquemático general de conexiones:

El microcontrolador 16F877A se configuro como se muestra en la figura 9.

Figura 9: esquemático de conexiones al microcontrolador.



4.2.6 Galga:

Para medir el torque producido por el motor, se utiliza una galga la cual fue calibrada para convertir el torque inducido a una señal de voltaje. Este tipo de galga es utilizada en grameras. Se evaluo la señal de la galga (ver tabla 2) para cerciorar un optimo funcionamiento según el circuito diseñado (ver figura 10).

Para comprobar la linealidad de la galga (ver figura 11) se utilizó una Resistencia de 100Ω la cual da una amplificación cercana a 100 según datasheet AD620 (ver figura 9).

Figura 10: acondicionamiento de la señal de la galga con R= 100Ω.

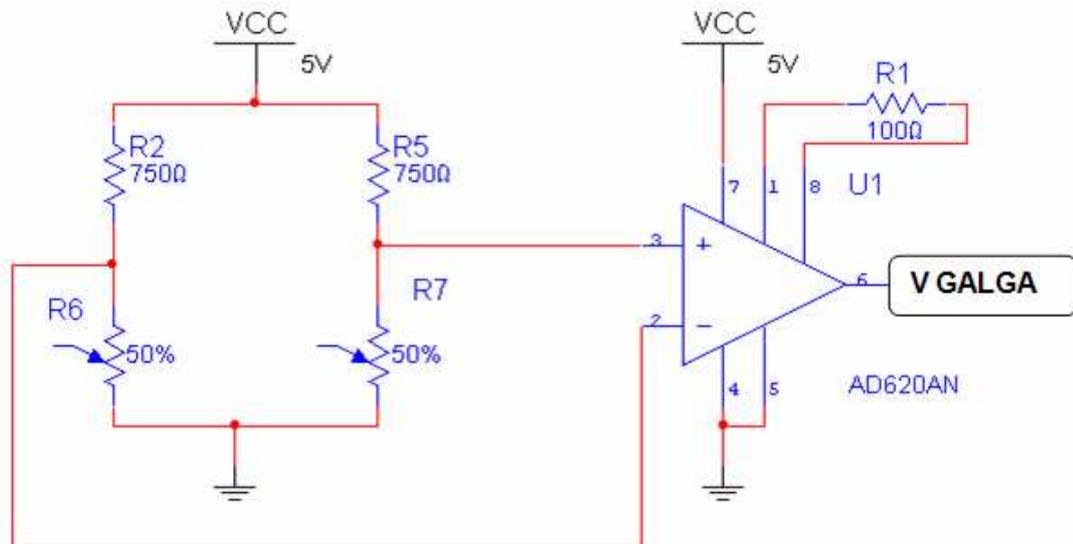
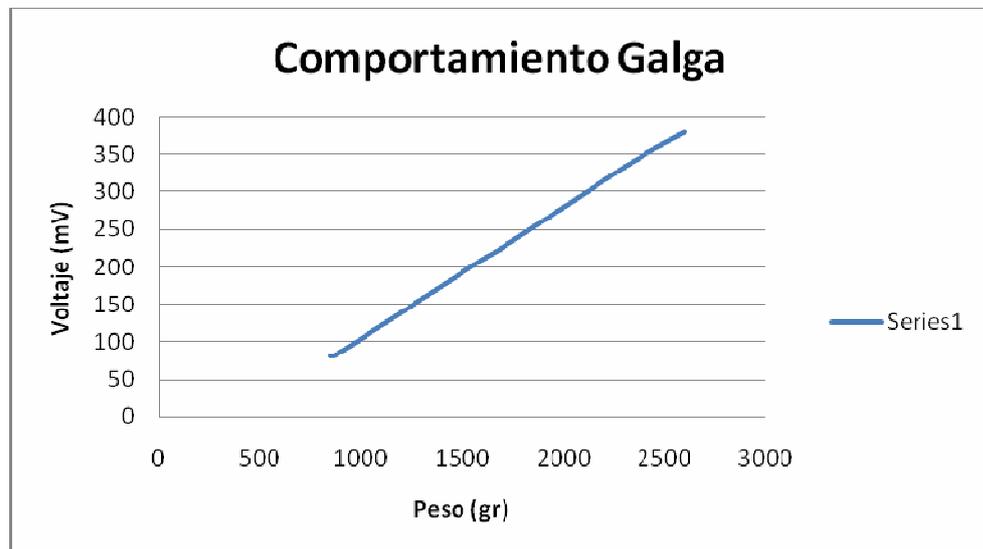


Tabla 2: comprobación de linealidad de la galga.

Peso (gr)	Voltaje galga (mV)								
-----	81.2	900	86.8	960	97.15	1060	114.6	1600	210
850	81.3	905	87.6	965	98.05	1070	116.4	1700	226
860	81.4	907	88	970	98.9	1080	118.2	1800	244
865	81.5	909	88.4	975	99.8	1090	120	1900	262
870	81.9	910	88.5	980	100.4	1100	121.7	2000	279
875	82.5	915	89.4	985	101.2	1150	130.6	2200	315
877	82.8	920	90.2	990	102.3	1200	139.5	2400	350
879	83.2	925	91.1	995	103.2	1250	148.3	2600	380
880	83.4	930	91.8	1000	104.1	1300	157.1		
882	83.7	935	92.7	1010	105.9	1350	165.85		
885	84.2	940	93.6	1020	107.6	1400	174.7		
887	84.5	945	94.5	1030	109.4	1450	183.4		
890	85	950	95.4	1040	111.1	1500	192.2		
895	85.9	955	96.3	1050	112.9	1550	201		

Figura 11: gráfica comportamiento de la galga.



Debido a que la señal de la galga es un voltaje muy pequeño, se utilizó una Resistencia de 68Ω (ver figura 12) la cual nos da una amplificación cercana a 1000 según datasheet AD620. Finalmente se realizaron las mediciones en la galga (tabla 3) para ver la eficiencia del circuito de amplificación.

Figura 12: acondicionamiento de la señal de la galga con $R=68\Omega$.

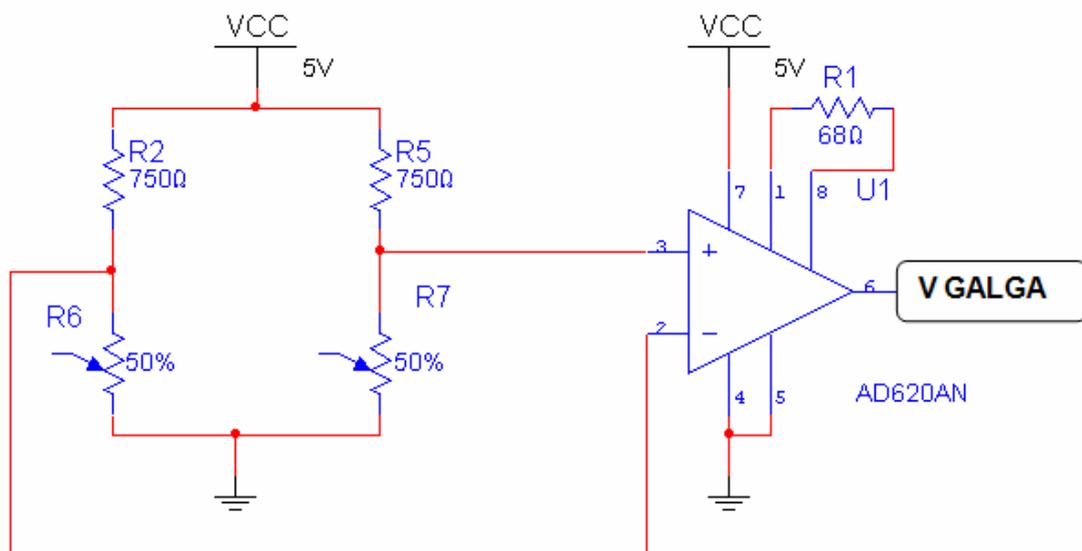


Tabla 3: visualización en LCD según el peso en la galga.

PESO (gr)	LCD	PESO (gr)	LCD	PESO (gr)	LCD
0 - 499	519 – 536	685	768 – 780	885	1017 – 1035
500	524 – 548	690	774 – 791	890	1035 – 1046
502	536 – 548	695	780 – 791	895	1035 – 1058
504	536 – 548	700	791 – 803	900	1035 – 1058
505	536 – 548	705	797 – 809	905	1058 – 1064
510	548 – 553	710	797 – 814	910	1058 – 1075
515	548 – 571	715	803 – 820	915	1058 – 1078
520	553 – 571	720	814 – 826	920	1064 – 1081
525	559 – 571	725	820 – 832	925	1075 – 1093
530	571 – 582	730	826 – 843	930	1075 – 1104
535	571 – 582	735	832 – 849	935	1087 – 1104
540	582 – 588	740	838 – 861	940	1104 – 1110
545	588 – 594	745	849 – 861	945	1104 – 1116
550	594 – 606	750	849 – 867	950	1104 – 1128
555	594 – 611	755	861 – 872	955	1110 – 1128
560	606 – 617	760	867 – 878	960	1128 – 1134
565	611 – 629	765	867 – 884	965	1128 – 1145
570	617 – 635	770	878 – 890	970	1128 – 1145
575	629 – 635	775	878 – 896	975	1139 – 1145
580	635 – 646	780	890 – 907	980	1145 – 1157
585	635 – 652	785	896 – 913	985	1145 – 1168
590	640 – 664	790	907 – 919	990	1151 – 1168
595	646 – 664	795	919 – 925	995	1157 – 1174
600	664 – 675	800	919 – 942	1000	1168 – 1186
605	664 – 687	805	919 – 942	1005	1174 – 1191
610	675 – 687	810	919 – 942	1010	1174 – 1191
615	675 – 687	815	936 – 954	1015	1186 – 1197
620	687 – 693	820	942 – 965	1020	1191 – 1203
625	687 – 704	825	942 – 965	1025	1197 – 1215
630	693 – 704	830	965 – 977	1030	1203 – 1220
635	704 – 722	835	965 – 977	1035	1215 – 1232
640	704 – 733	840	965 – 983	1040	1220 – 1238
645	722 – 733	845	965 – 988	1045	1220 – 1238
650	733 – 739	850	971 – 1000	1050	1232 – 1244
655	733 – 739	855	983 – 1006	1055	1238 – 1249
660	733 – 756	860	988 – 1006	1060	1238 – 1261
665	739 – 756	865	988 – 1006	1065	1244 – 1261

670	756 – 768	870	1000 – 1017	1070	1261 – 1290
675	756 – 774	875	1006 – 1029	1075	1261 – 1278
680	768 – 774	880	1012 – 1035	1080	1278 – 1282

4.2.7 Conexiones y esquemáticos:

En las figuras de la 13 a la 15 se puede observar los esquemáticos de conexión al microcontrolador.

Figura 13: energización del motor y medición del voltaje.

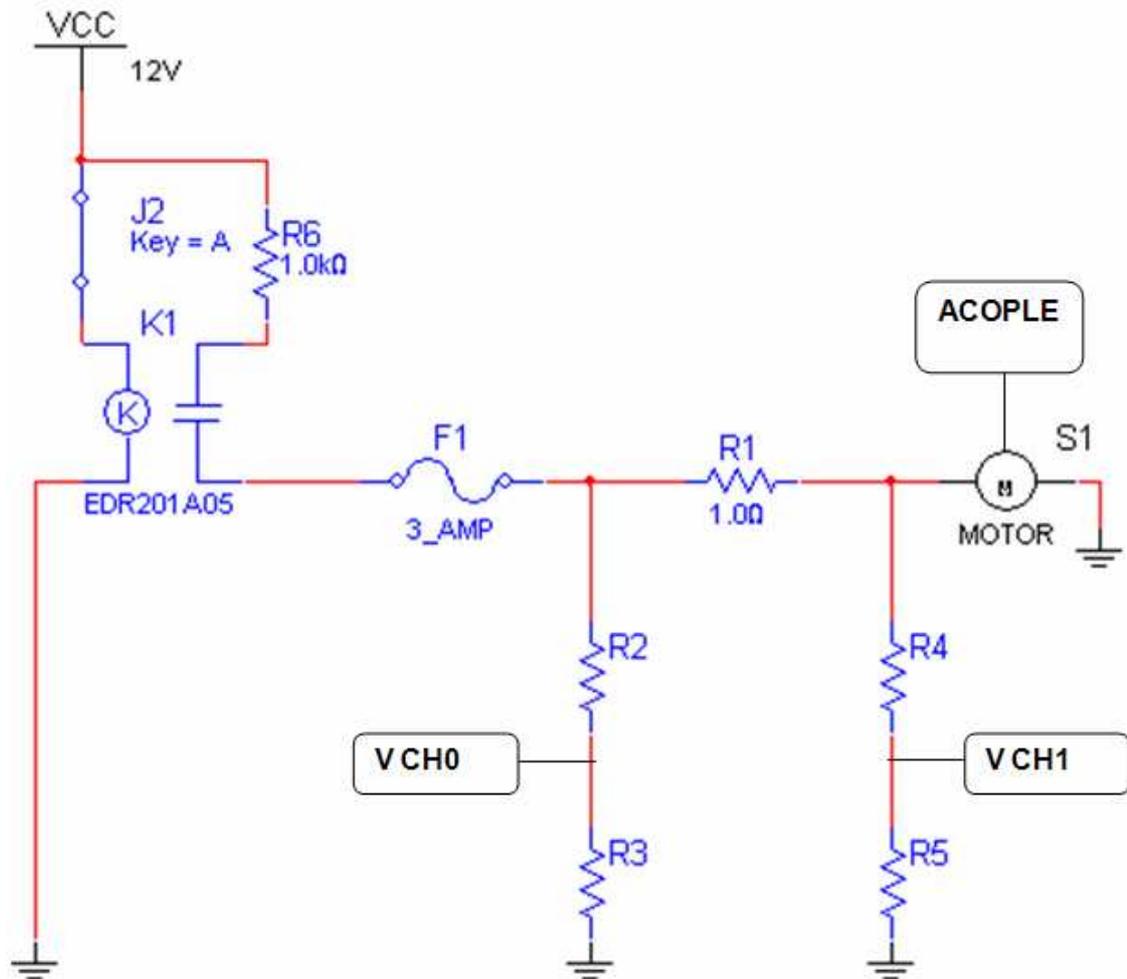


Figura 14: fuente de voltaje.

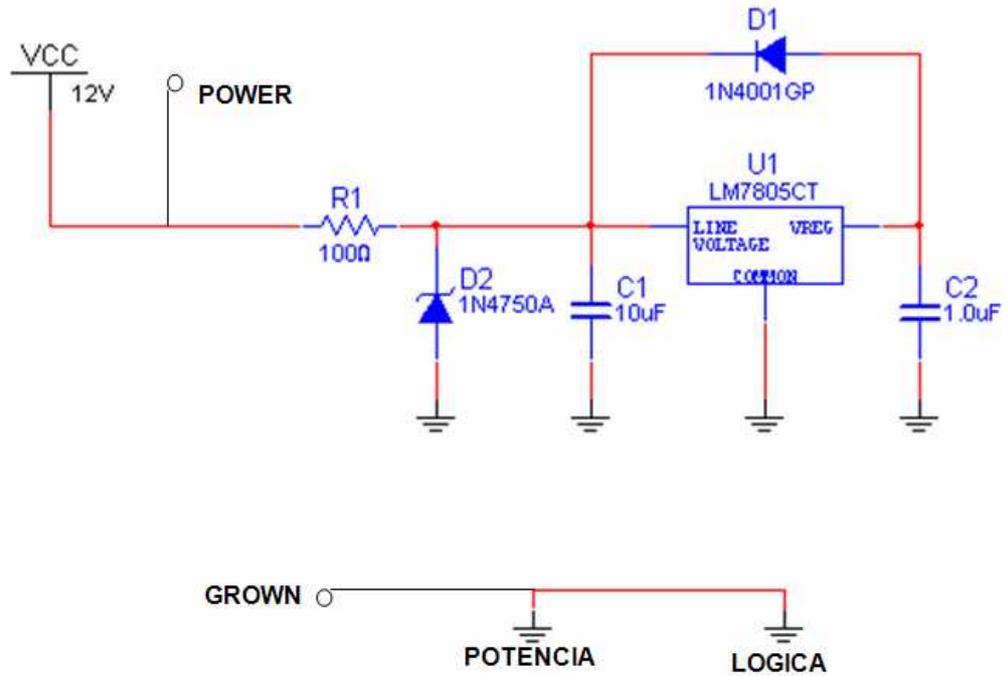
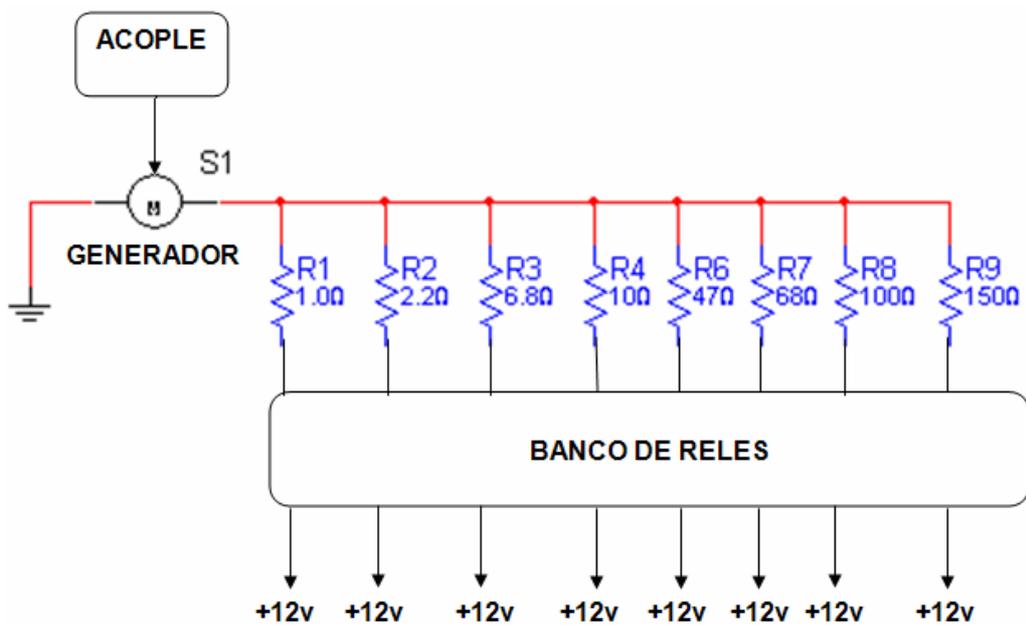


Figura 15: generador y banco de relés.



4.2.8 Desarrollo del software del microcontrolador 16F877A:

```
=====
;
=====
list          p=16f877a    ; list directive to define processor

;
=====
#include      <p16f877a.inc>    ; processor specific variable definitions
#include      <C:\PROGRAM
FILES\MICROCHIP\TOOLS\LIBRERY\TIME.INC>
#include      <C:\PROGRAM
FILES\MICROCHIP\TOOLS\LIBRERY\LCD.INC>
#include      <C:\PROGRAM
FILES\MICROCHIP\TOOLS\LIBRERY\A_D.INC>
#include      <C:\PROGRAM
FILES\MICROCHIP\TOOLS\LIBRERY\BIN.INC>

;
=====
; Registros manejo LCD
GLOBAL      TEMPOR
GLOBAL      CONTA_TABLA
GLOBAL      CONTA_BIENVE

;
=====
; Rutinas
EXTERN      RET_10MICRO,RET_20MICRO,RET_UNMIL, RET_UNSEG,
RET_UDCMILI;RET_50MICRO
EXTERN      BORRAM0,BORRAM1,BORRAM2,BORRAM3
EXTERN      A_D_RutUnivPIC16F87X
EXTERN      ENCENDER_LCD,DATO,INST
EXTERN      BinBCD,BinDec
EXTERN      TiempoCxPc,TxBytePc
EXTERN      SwStop
EXTERN      PrbCrg
```

```

; Tablas
    EXTERN    MensAutores
    EXTERN    MensaDat1,MensaDat2,MensaDat3
    EXTERN
    Tab1Galga,Tab1DigGalBytAlto,Tab1DigGalBytBajo,Tab1GalgaPrueba
    EXTERN    TabEncdr_0,TabEncdr_1
    EXTERN    Tab_I_Motor
    EXTERN    MensaDat4

```

```

; Registros
    EXTERN    CONTA_RET_1, CONTA_RET_2, CONTA_RET_3,
CONTA_RET_4, CONTA1_MILI, BUF_ASCII
    EXTERN    REG_BAJO_A_D, REG_ALTO_A_D
    EXTERN    Uni,Dec,Cen
    EXTERN    Viajero
    EXTERN    Conta1Encdr,Conta2Encdr,Conta1Seg
    EXTERN    Convers,UniMilGalga,CenGalga,DecGalga,UniGalga
    EXTERN    UniMilRpm,CenRpm,DecRpm,UniRpm
    EXTERN    BANDERAS,Carga,DecVEnt,UniVEnt
    EXTERN    UniMilAmp,CenAmp,DecAmp,UniAmp
    EXTERN    VFuente,DecenasCarga

```

```

;=====
=====
    __CONFIG_CP_OFF & _WDT_OFF & _BODEN_OFF & _PWRTE_ON &
    _XT_OSC & _WRT_OFF & _LVP_OFF & _CPD_OFF

```

```

;=====
=====

```

```

;=====
=====
.***** INICIALIZANDO VARIABLES RAM
,
*****
;=====
=====

```

```

; Inicialización de la Sección de datos

```

VIGA_VAR UDATA 0x20 ; Empieza Banco 0 (0x20 --> 0x6F) = 80
Registros Propósito General

; Variables utilizadas en las interrupciones

W_TEMP RES 1 ; 0x20 ; Para guardar contexto
STATUS_TEMP RES 1 ; 0x21 ; Para guardar contexto
PCLATH_TEMP RES 1 ; 0x22 ; Para guardar contexto
CONTA_TABLA_SAVE RES 1 ; 0x23 ; CONTA_TABLA

; Variables utilizadas en el manejo de la LCD

TEMPOR RES 1 ; 0x24
CONTA_TABLA RES 1 ; 25
CONTA_BIENVE RES 1 ; 26

```

;=====
=====
RESET_VECTOR CODE0x000 ; processor reset vector
    NOP ; nop required for icd
    MOVLW HIGH INI ; load upper byte of 'INI' label
    MOVWF PCLATH ; initialize PCLATH
    GOTOINI ; go to beginning of program

```

```

;=====
=====
INT_VECTOR CODE0x0004 ; interrupt vector location

    NOP
    MOVWF W_TEMP ;Copy W to TEMP register
    SWAPF STATUS,W ;Swap status to be saved into W
    CLRF STATUS ;bank 0, regardless of current bank, Clears IRP,RP1,RP0
    MOVWF STATUS_TEMP ;Save status to bank zero STATUS_TEMP
register
    MOVF PCLATH, W ;Only required if using pages 1, 2 and/or 3
    MOVWF PCLATH_TEMP ;Save PCLATH into W
    CLRF PCLATH ;Page zero, regardless of current page

```

```

TMR0_TEST
    NOP
    PAGESEL    PORTB_TEST
    BTFSS     INTCON,2    ; ¿INTERRUPCIÓN POR TMR0 AL CUMPLIRSE
49.920 uSEG?
    GOTO PORTB_TEST    ; NO, REVISE LA OTRA INTERRUPCIÓN
    ; Sí
    INCF     Conta1Seg,1
    MOVLW    .20
    XORWF    Conta1Seg,W
    PAGESEL    SaleTmr0
    BTFSS     STATUS,Z    ; ¿Un segundo?
    GOTO SaleTmr0    ; No
    ; Sí
    CLRF     Conta1Seg
    BSF     BANDERAS,T1Seg; Se coloca la bandera indicadora de un segundo
    PAGESEL    SaleTmr0
    GOTO SaleTmr0

```

```

PORTB_TEST
    PAGESEL    RET_20MICRO
    CALL RET_20MICRO
    PAGESEL    SALE
    BTFSS     INTCON,0    ; Interrupción por cambio en el puerto B?
    GOTO SALE ; No

```

```

SALE
    NOP
    MOVF     PCLATH_TEMP, W ;Restore PCLATH
    MOVWF    PCLATH ;Move W into PCLATH
    SWAPF    STATUS_TEMP,W ;Swap STATUS_TEMP register into W
    MOVWF    STATUS ;Move W into STATUS register
    SWAPF    W_TEMP,F ;Swap W_TEMP
    SWAPF    W_TEMP,W ;Swap W_TEMP into W
    BCF     INTCON,0    ; Limpia la bandera de interrupción cambio PORTB
    RETFIE                                     ; return from interrupt

```

SaleTmr0

```

NOP
PAGESEL  RET_20MICRO
CALL RET_20MICRO
CALL RET_20MICRO
CALL RET_20MICRO
BANK0    ; ME ASEGURO DE ESTAR EN EL BANCO 0
MOVLW   .61    ; CONFIGURO EL CONTEO PARA LA PRÓXIMA
INTERRUPCIÓN
MOVWF   TMR0 ; QUE SERÁ EN 49.920 uSEG

MOVF PCLATH_TEMP, W ;Restore PCLATH
MOVWF PCLATH ;Move W into PCLATH
SWAPF STATUS_TEMP,W ;Swap STATUS_TEMP register into W
MOVWF STATUS ;Move W into STATUS register
SWAPF W_TEMP,F ;Swap W_TEMP
SWAPF W_TEMP,W ;Swap W_TEMP into W
BCF  INTCON,2  ; ACTIVA INTERRUPCIÓN POR TMR0
      ; APROX = 50 MILISEGUNDOS
RETFIE      ; return from interrupt

```

```

;=====
=====
POSICION CODE

```

```

INI
;----- Configuración Previa de Puertos para Comunicación Llave -----
-----

```

```

BANK0

CLRF PORTA
CLRF PORTB
CLRF PORTC
CLRF PORTD
CLRF PORTE
CLRF INTCON

```

```

BANK1

```

```

; Arreglando los canales A/D
MOVLW   B'10001101' ; 2 canales análogos: AN0, AN1...      AN4,
AN5, AN6 Y AN7 son digitales
MOVWF   ADCON1    ; ... y registro ADDERS justificado a la derecha

```

```

NOP
MOVLW    B'00001111' ; Los cuatro pines menos significativos son
entradas, los otros son salidas
MOVWF    TRISA

NOP
MOVLW    B'00000000'
MOVWF    TRISB; PORTB salidas

NOP
MOVLW    B'00001111' ; PORTC <0:4> son entradas, los demás son
salidas
MOVWF    TRISC          ;

NOP
;        MOVLW    B'00000010' RD1 será entrada para la comunicación con el
computador
MOVWF    TRISD          ; PORTD es todo de salidas

NOP
MOVLW    B'00000000'      ; PORTE ES TODO DE SALIDAS
MOVWF    TRISE

BANK0

NOP
CLRF    PORTA
NOP
CLRF    PORTB
NOP
CLRF    PORTC
NOP
CLRF    PORTD
NOP
CLRF    PORTE
NOP
BSF    TxPc ; Envía IDLE al computador
NOP
; -----

```

```

. ***** ARREGLOS PREVIOS
;
*****
; -----
; Inicializando en ceros los bancos RAM
PAGESEL BORRAM0
CALL BORRAM0 ; Duración 674 uSeg

PAGESEL BORRAM1
CALL BORRAM1

BANK0 ; Después de pasar a otros bancos, me aseguro de quedar en
el banco 0

NOP

PAGESEL ENCENDER_LCD
CALL ENCENDER_LCD

NOP
VISUAL MensAutores " Tesis de grado MinottaRodriguez " ;
Duración 5,55 mSeg.
NOP

;-----
;===== COMIENZO DEL PROGRAMA PRINCIPAL
;=====
;-----
COMIENZO

PregSwIni
NOP
PAGESEL PregSwIni
BTFSC SwIni ; Se desea iniciar?
GOTOPregSwIni ; No
; Sí
NOP
PAGESEL RET_UDCMILI
MOVLW .50
CALL RET_UDCMILI
PAGESEL PregSwIni
BTFSC SwIni ; Se desea iniciar?

```

GOTOPregSwIni ; No

; Sí, se desea iniciar la batería de pruebas... Entonces:

; Se lee el interruptor que indica el voltaje de la fuente

```
NOP
PAGESEL Pdr24
BTFSW SwPdr; ¿Alimentación a +12V?
GOTOPdr24 ; No
```

; Sí

Pdr12

```
MOVLW .1
MOVWF DecVEnt
NOP
MOVLW .2
MOVWF UniVEnt
NOP
PAGESEL ActiveRelePdrBco
GOTOActiveRelePdrBco
```

Pdr24

```
MOVLW .2
MOVWF DecVEnt
NOP
MOVLW .4
MOVWF UniVEnt
NOP
PAGESEL ActiveRelePdrBco
GOTOActiveRelePdrBco
```

; Se le habilita el suministro de corriente al banco

ActiveRelePdrBco

```
NOP
BSF RelePdrBco ; Energiza el motor y los relés de las cargas
NOP
```

```
PAGESEL RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG ; Retardo para permitir que se establezca la fuente
```

; Comienza la batería de pruebas
IniBATERIA

;=====
; PRUEBA CARGA 0
=====

; Se asegura que ninguna carga esté conectada al generador
AjstCrg0

; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
MOVLW .0
MOVWF Carga
NOP

PAGESEL PrbCrg
CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

NOP

;=====
; PRUEBA CARGA 1
=====

; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg1

NOP
BSF Carga1
NOP
PAGESEL RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG
NOP

; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
MOVLW .1
MOVWF Carga
NOP

PAGESEL PrbCrg
CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

NOP

```

;-----
;===== PRUEBA CARGA 2
=====
;-----
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg2
    NOP
    BSF  Carga2
    NOP
    PAGESEL  RET_UNSEG
    CALL RET_UNSEG
    NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
    MOVLW  .2
    MOVWF  Carga
    NOP

    PAGESEL  PrbCrg
    CALL PrbCrg      ; Ejecuta la prueba con carga

    NOP

;-----
;===== PRUEBA CARGA 3
=====
;-----
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg3
    NOP
    BSF  Carga3
    NOP
    PAGESEL  RET_UNSEG
    CALL RET_UNSEG
    NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
    MOVLW  .3
    MOVWF  Carga
    NOP

    PAGESEL  PrbCrg
    CALL PrbCrg      ; Ejecuta la prueba con carga

    NOP

```

```

;-----
;===== PRUEBA CARGA 4
=====
;-----
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg4
    NOP
    BSF  Carga4
    NOP
    PAGESEL  RET_UNSEG
    CALL RET_UNSEG
    NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
    MOVLW  .4
    MOVWF  Carga
    NOP

    PAGESEL  PrbCrg
    CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

    NOP

```

```

;-----
;===== PRUEBA CARGA 5
=====
;-----
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg5
    NOP
    BSF  Carga5
    NOP
    PAGESEL  RET_UNSEG
    CALL RET_UNSEG
    NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
    MOVLW  .5
    MOVWF  Carga
    NOP

    PAGESEL  PrbCrg
    CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

```

NOP

```
-----  
;===== PRUEBA CARGA 6  
=====  
;-----  
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador  
AjstCrg6  
    NOP  
    BSF  Carga6  
    NOP  
    PAGESEL  RET_UNSEG  
    CALL RET_UNSEG  
    NOP  
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca  
    MOVLW  .6  
    MOVWF  Carga  
    NOP  
  
    PAGESEL  PrbCrg  
    CALL PrbCrg      ; Ejecuta la prueba con carga  
  
    NOP
```

```
-----  
;===== PRUEBA CARGA 7  
=====  
;-----  
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador  
AjstCrg7  
    NOP  
    BSF  Carga7  
    NOP  
    PAGESEL  RET_UNSEG  
    CALL RET_UNSEG  
    NOP  
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca  
    MOVLW  .7  
    MOVWF  Carga
```

NOP

PAGESEL PrbCrg
CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

NOP

```
-----  
;  
;===== PRUEBA CARGA 8  
=====
```

```
-----  
;  
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador  
AjstCrg8
```

```
    NOP  
    BSF Carga8  
    NOP  
    PAGESEL RET_UNSEG  
    CALL RET_UNSEG  
    NOP
```

```
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca  
    MOVLW .8  
    MOVWF Carga  
    NOP
```

PAGESEL PrbCrg
CALL PrbCrg ; Ejecuta la prueba con carga

NOP

```
-----  
;  
;===== PRUEBA CARGA 9  
=====
```

```
-----  
;  
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador  
AjstCrg9
```

```
    NOP  
    BSF Carga9  
    NOP  
    PAGESEL RET_UNSEG
```

```

CALL RET_UNSEG
NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
MOVLW    .9
MOVWF    Carga
NOP
PAGESEL  RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG
NOP

PAGESEL  PrbCrg
CALL PrbCrg    ; Ejecuta la prueba con carga

NOP

;-----
;===== PRUEBA CARGA 10
;=====
;-----
; Se asegura de que solo una carga esté conectada al generador
AjstCrg10
NOP
BSF    Carga10
NOP
PAGESEL  RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG
NOP
; Se actualiza el registro que durante la visualización indica qué carga se coloca
MOVLW    .1
MOVWF    DecenasCarga    ; Para visualizar el número 10
NOP

MOVLW    .0
MOVWF    Carga
NOP

PAGESEL  PrbCrg
CALL PrbCrg    ; Ejecuta la prueba con carga

NOP
VISUAL    MensaDat4 "  PRUEBAS    TERMINADAS "    ; Final de
pruebas

```

NOP

PAGESEL RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG
NOP

PAGESEL RET_UNSEG
CALL RET_UNSEG
NOP
CLRF DecenasCarga
NOP

; PAGESEL IniBATERIA
GOTOIniBATERIA

FIN

NOP
NOP
GOTOFIN

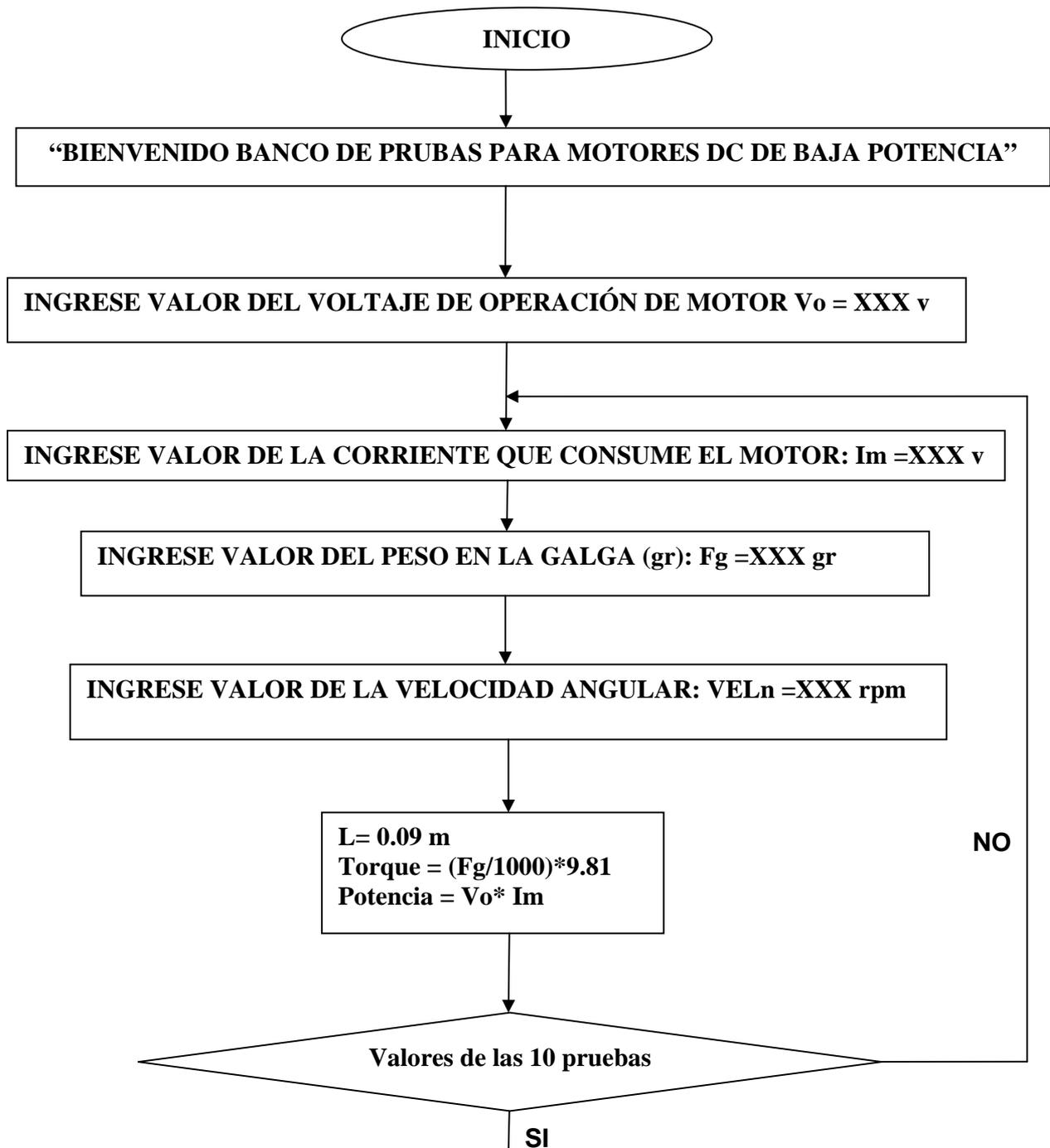
=====
;=====
=====

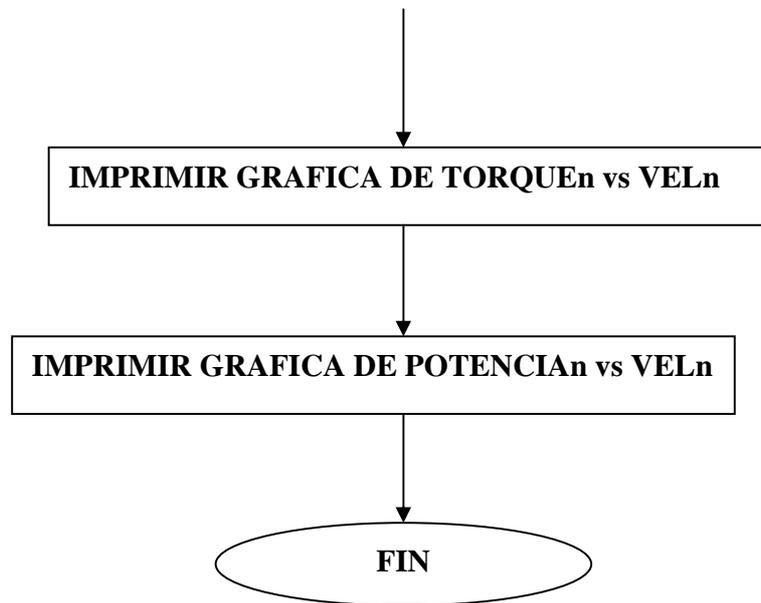
ORG 0x2100
DE 0x00, 0x00, 0x03, 0x00, 0xD0, 0x00, 0x00, 0x03, 0x00, 0xD0, 0x00,
0x00, 0x03, 0x00, 0xD0

END

4.2.9 Desarrollo de software en Matlab

Diagrama de funcionamiento general:



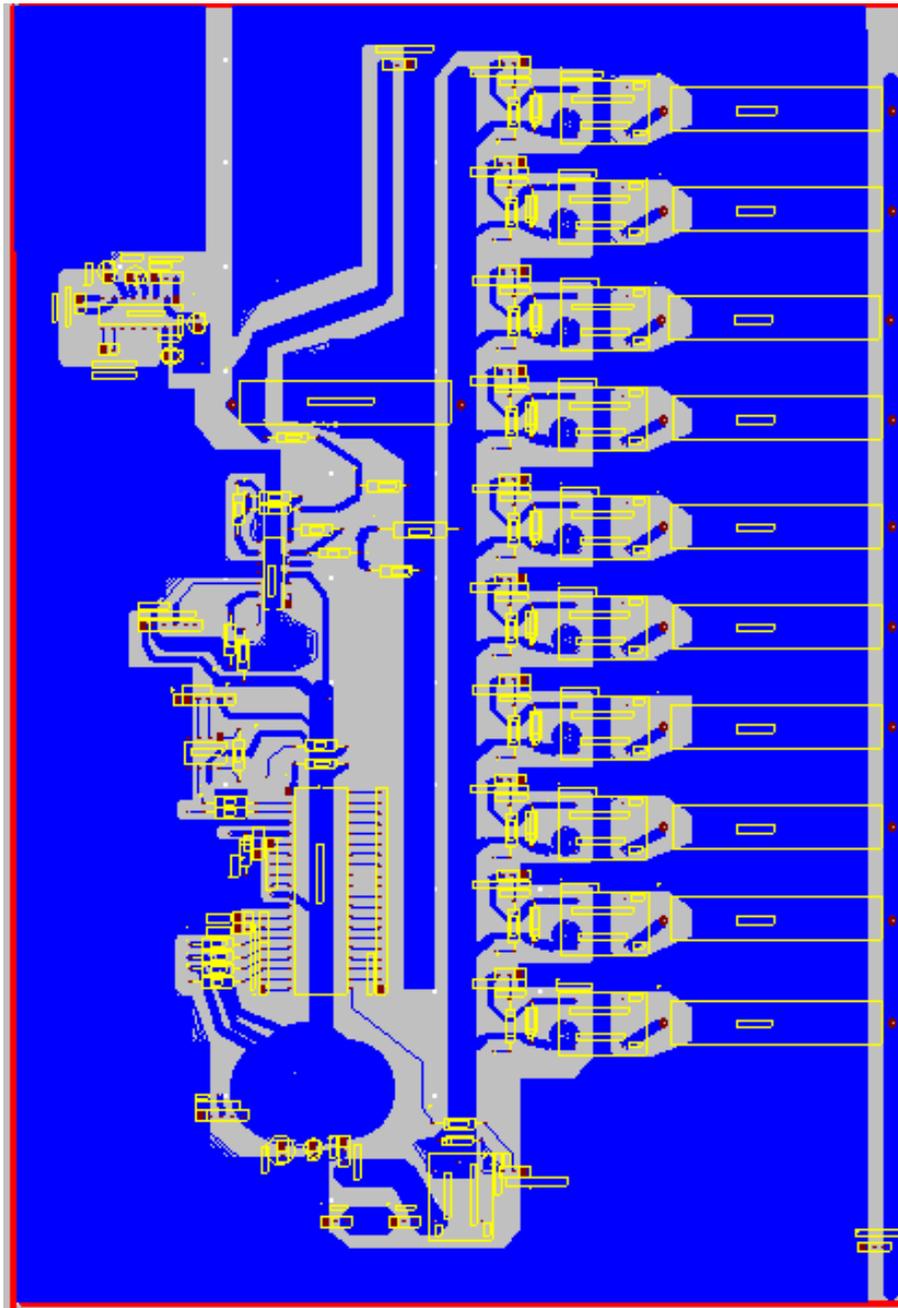


4.2.10 Código en Matlab

```
clc
clear all
disp('BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES d.c.')
v = input('Valor del voltaje de operación del motor (12V o 24V): ');
imd = zeros(1,10);
fgd = zeros(1,10);
veld = zeros(1,10);
torque = zeros(1,10);
potencia = zeros(1,10);
i=0;
while i<10
i=i+1;
disp('Prueba carga: ')
im = input('Valor de la corriente que consume el motor: ');
fgg = input('Valor de la fuerza en la galga: ');
vel = input('Valor de la velocidad angular (rpm): ');
l = 0.05;
fuerza = (fgg/1000)*9.81;
pot = v*im/1000;
tor = fuerza*l;
imd(1,i) = im;
fgd(1,i) = fgg;
veld(1,i) = vel;
torque(1,i) = tor;
potencia(1,i) = pot;
end
plot(veld,torque)
title('Torque Vs Velocidad angular');
xlabel('Velocidad angular (rpm)');
ylabel('Torque (N*m)');
plot(veld,potencia)
title('Potencia Vs Velocidad angular');
xlabel('Velocidad angular (rpm)');
ylabel('Potencia (W)');
```

4.2.11 Trazado del circuito impreso: En la figura 16 se puede observar el trazado de la baqueta la cual es la base del circuito eléctrico.

Figura 16: trazado del circuito impreso.

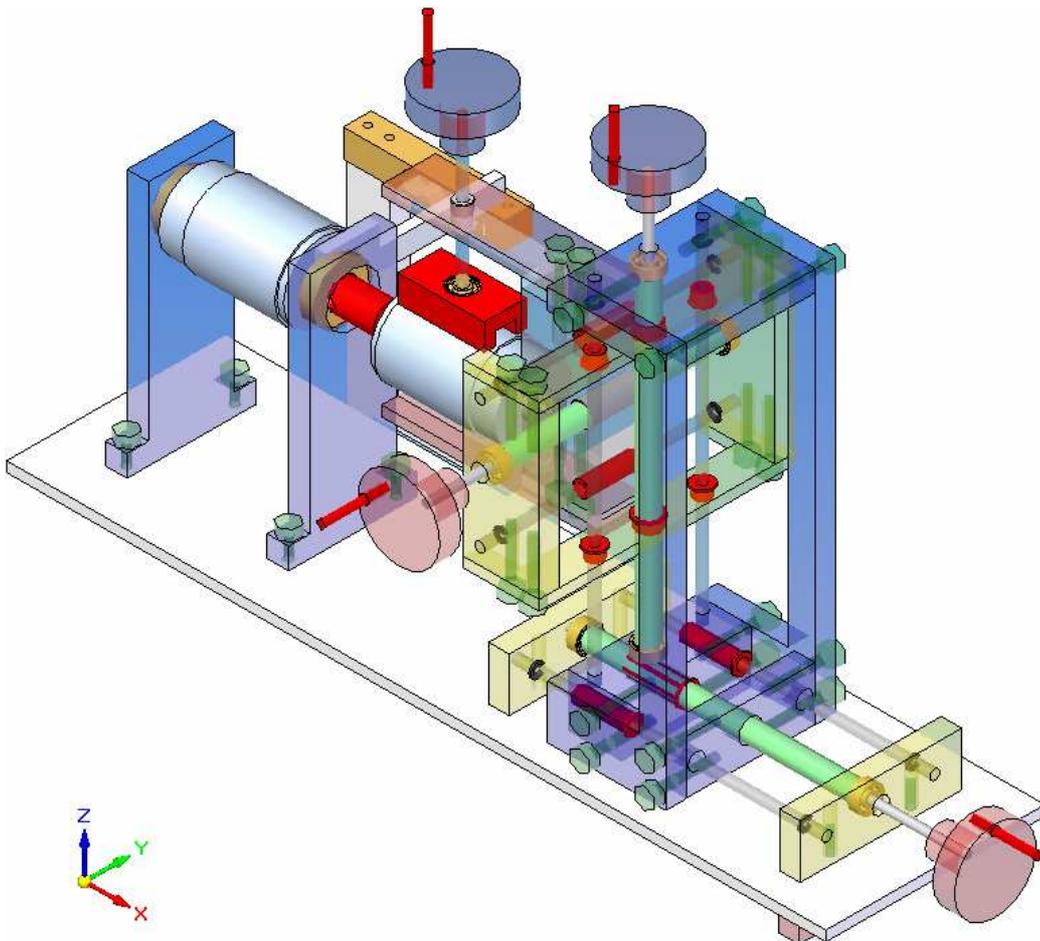


4.3 PLATAFORMA MECÁNICA

En la figura 17 se puede observar la plataforma mecánica del banco de pruebas completamente ensamblada. Esta construida en su mayor parte de aluminio, debido a que es un material económico y fácil de maquinarse, los ejes se construyeron en acero inoxidable y los bujes en bronce.

El banco de pruebas tiene 110 piezas (ver tabla 4), de las cuales 30 fueron diseñadas y construidas (ver figura 19 a la 54) según exigencias para poder alinear y acoplar el eje del motor al generador, las demás piezas como tornillería y sigel son comerciales. Las unidades de medida utilizadas son según Sistema Internacional (SI).

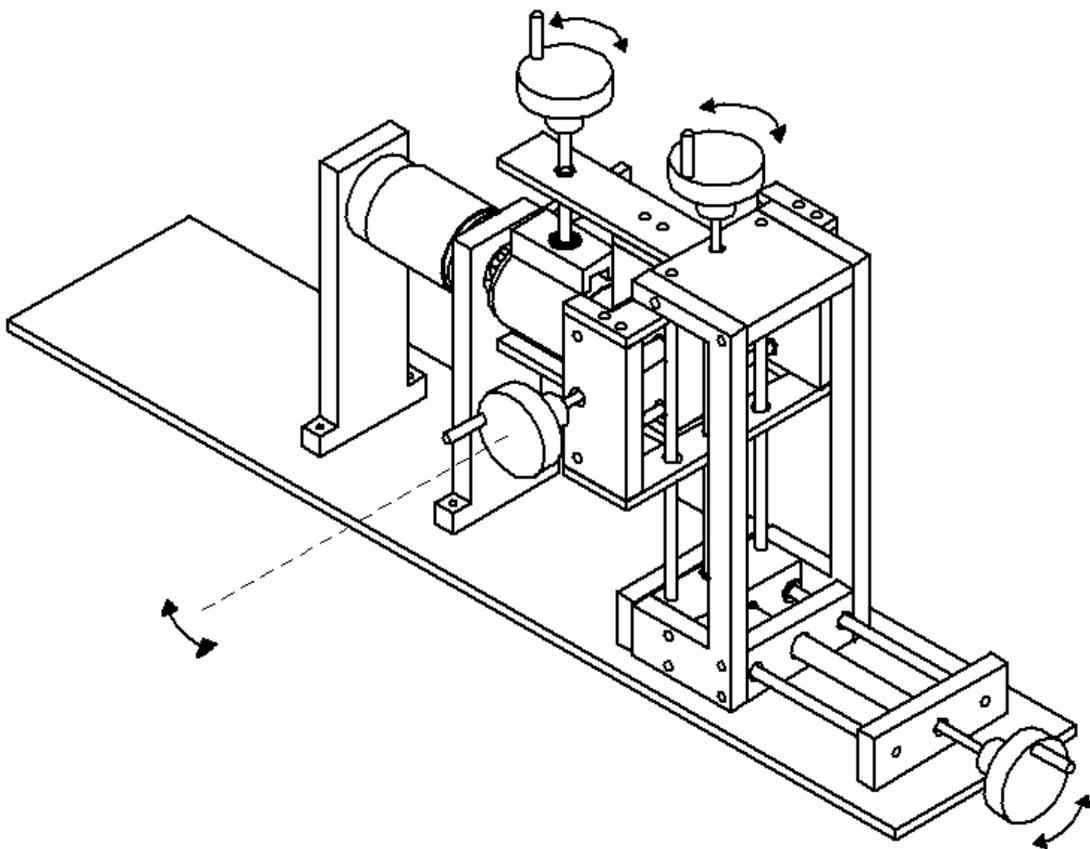
Figura 17: vista isométrico banco de pruebas.



4.3.1 Alineación de ejes:

La plataforma mecánica del banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia esta diseñada para permitir al usuario una correcta alineación por contar con movimiento en los 3 ejes de coordenadas, además debe brindar la posibilidad de anclar el motor en cualquier forma debido al diseño del anclaje universal (ver figura 18).

Figura 18: alineación y anclaje del motor.



El desplazamiento se realiza mediante un sistema sinfín-camisa, en el cual el sinfín es una varrilla de acero inoxidable roscada de 1/8 in de diámetro, y la camisa es de bronce.

Esta disposición nos permite un desplazamiento de 2mm por vuelta de la manija.

4.3.2 Piezas que conforman la plataforma mecánica

Figura 19: partes bando de pruebas

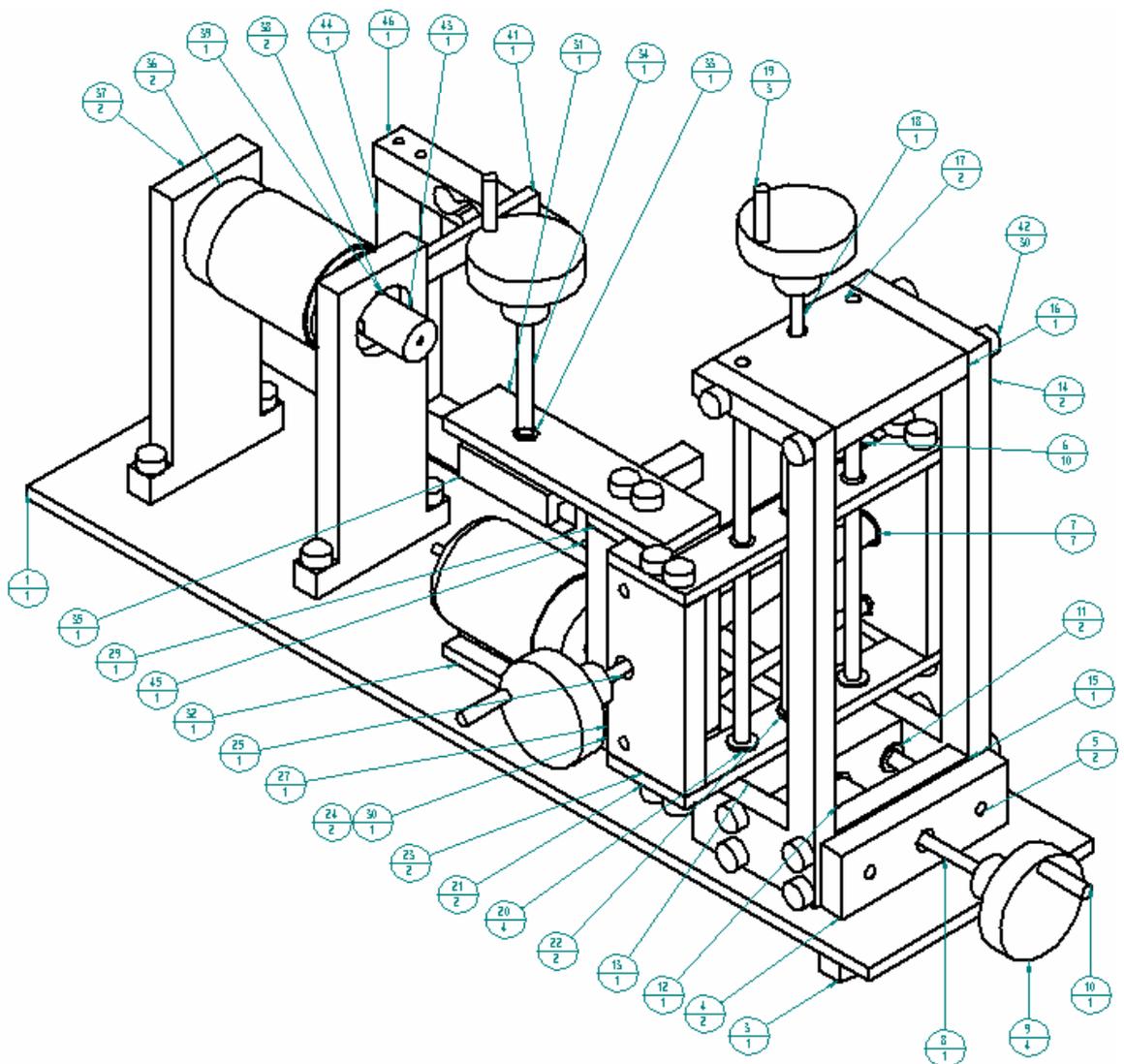


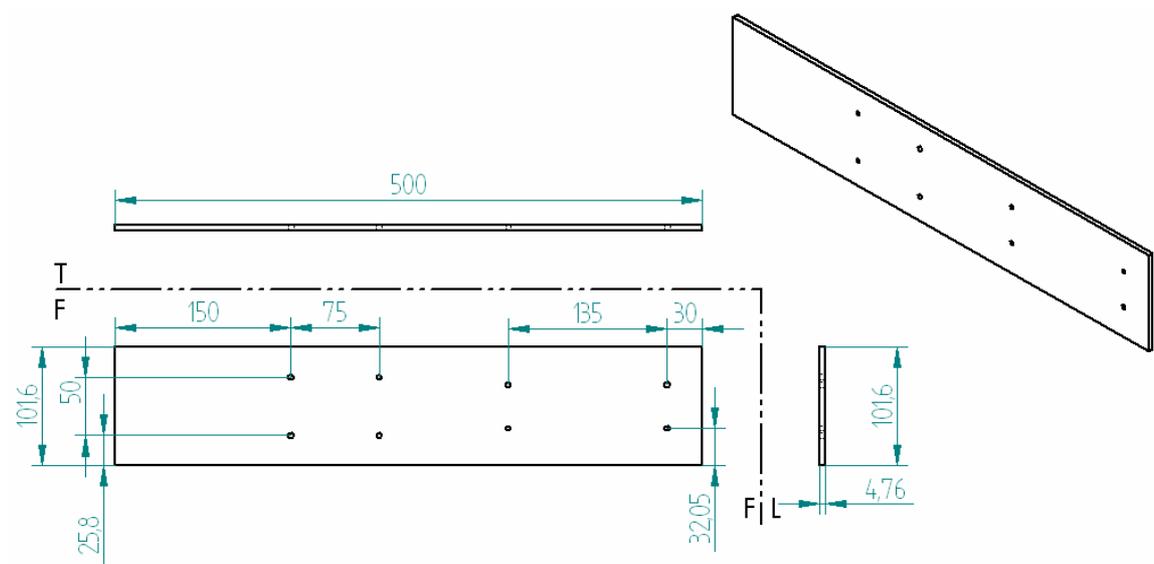
Tabla 4: partes de la plataforma mecánica.

Item Number	Title	Quantity	Item Number	Title	Quantity
30	Axela inferior del motor	1	9	Malla	4
29	Axela superior del motor	1	6	Stigel	10
31	Reforzo axela superior del motor	1	4	Axela posicionador en eje X	2
33	Buje axela superior del motor	1	1	Soporte	1
32	Reforzo axela inferior del motor	1	14	Union lateral posicionador en eje X	2
28*	Buje eje guia posicionador en eje Y	1	15	Posicionador en eje X	1
24	Varilla guia posicionador en eje Y	2	5	Varilla guia posicionador en eje X	2
23	Union lateral posicionador en eje Z	2	10	Perilla malla	1
25	Eje guia posicionador en eje Y	1	20	Buje varilla guia posicionador en eje Z	4
27	Posicionador en eje Y	1	3	Apoyo posterior	1
26*	Buje varilla guia posicionador en eje Y	2	2*	Apoyo	1
34	Tornillo sujetador del motor	1	22	Buje eje guia posicionador en eje Z	2
43	Acople eje motor-generador	1	21	Posicionador en eje Z	2
41	Barra torsora	1	42	Tornillo Bristol 3/16 x 1	30
44	Axela de la galga	1	16	Platina superior posicionador en eje X	1
46	Galga	1	11	Buje lateral platina axela vertical.par	2
45	Sujetador del axela de la galga	1	17	Varilla guia posicionador en eje Z	2
40*	Buje posterior del generador	1	19	Varilla de la malla	3
36	Generador	2	18	Eje guia posicionador en eje Z	1
35	Sujetador del motor	1			
37	Axela del generador	2			
39	Buje frontal del generador	1			
38	Rodamiento del generador	2			
13	Platina intersección ejes XZ	1			
7	Rodamiento 624	7			
8	Eje guia posicionador en eje X	1			
12	Buje eje guia posicionador en eje X	1			

Soporte

El banco está anclado a una platina de aluminio la cual esta perforada para permitir un mejor ajuste, y poder trasladar el sistema fácilmente.

Figura 20: soporte.



Ancla posicionador en eje X

Pieza para anclar el sistema de posición universal al soporte, alinea el eje guía en X,

Figura 21: ancla posicionador en eje X.

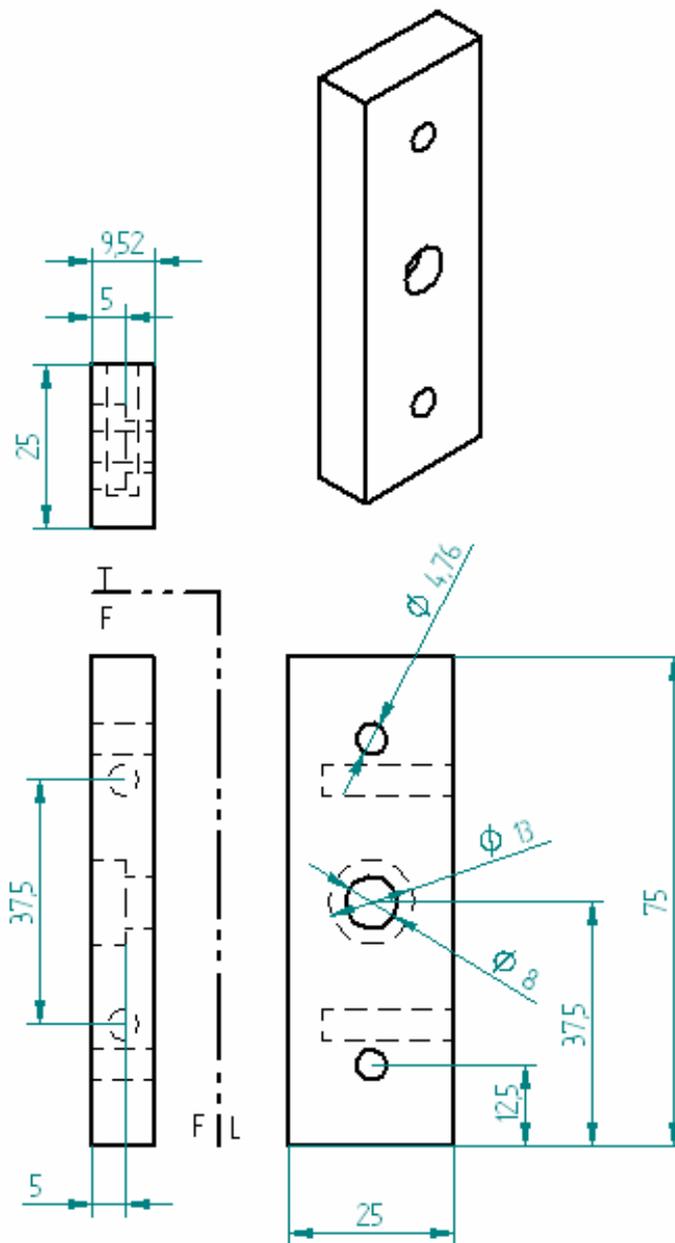


Figura 22: varilla guía posicionador en eje X

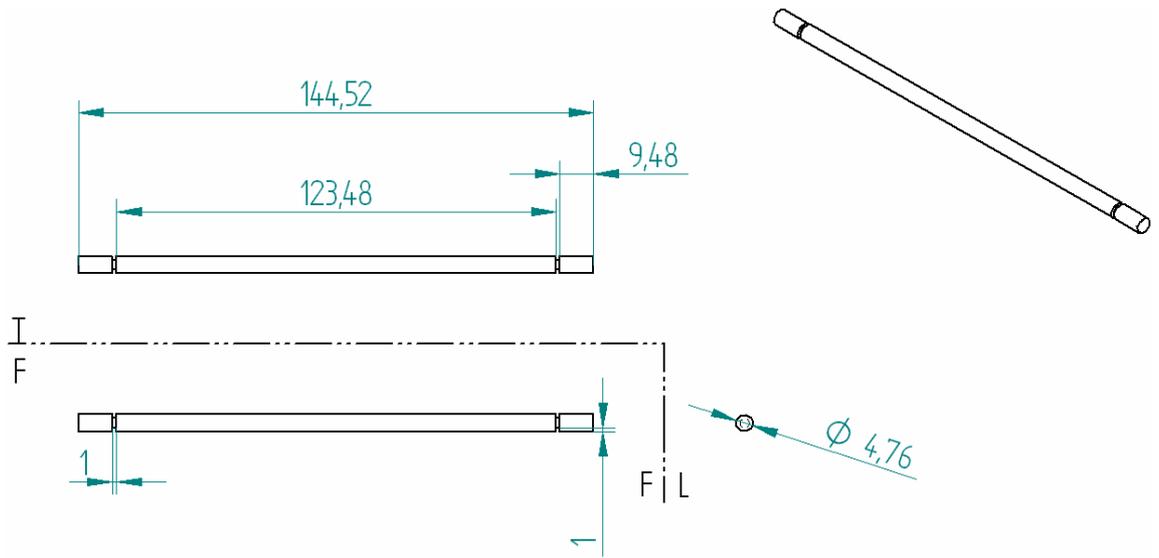


Figura 23: eje guía posicionador en eje x

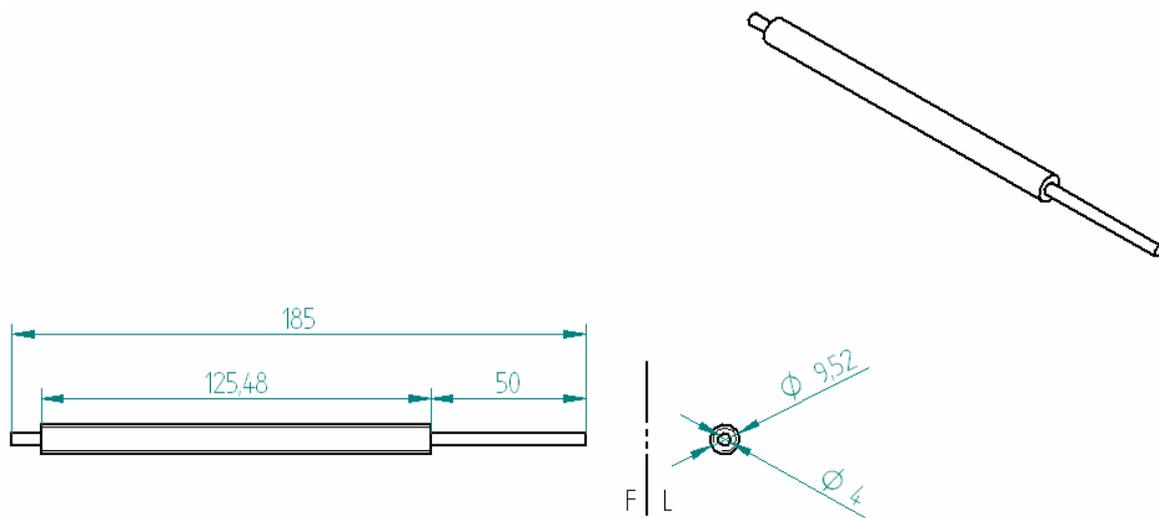


Figura 24: manija

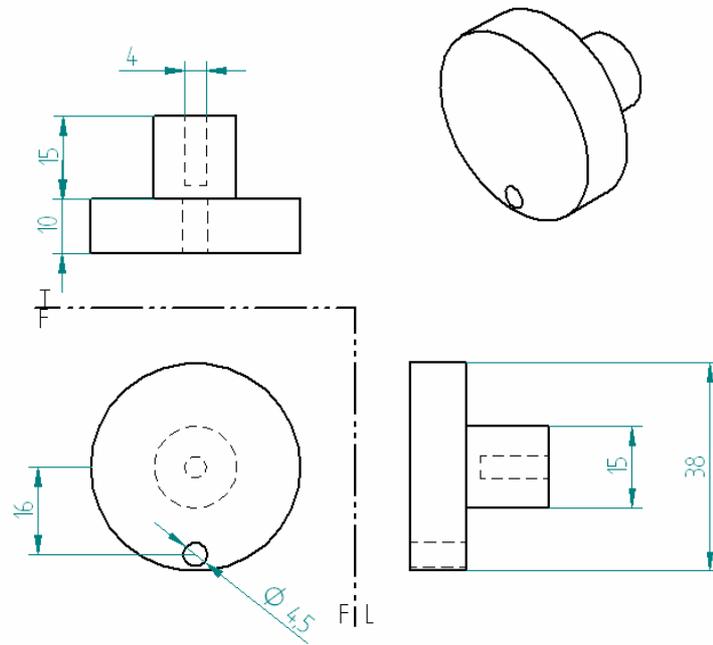


Figura 25: perilla de la manija.

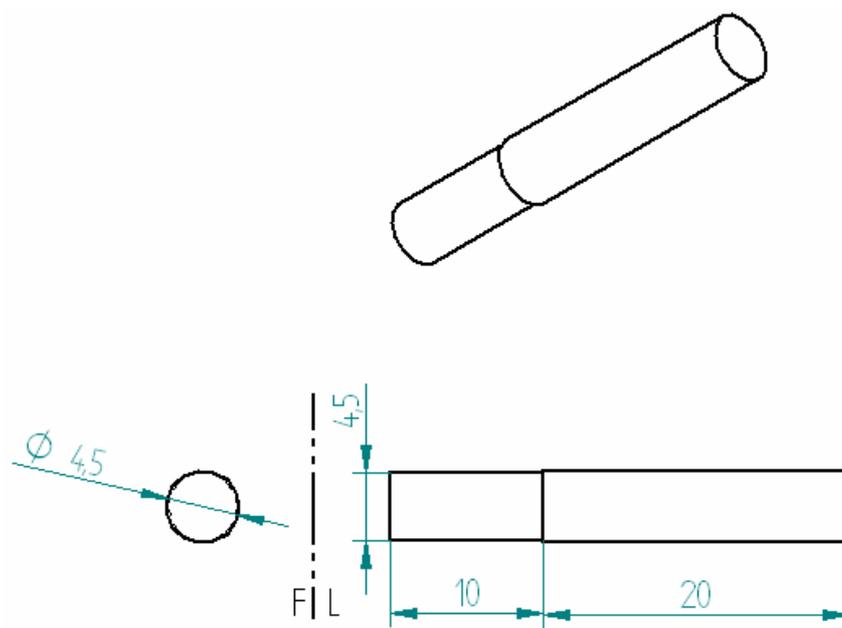


Figura 26: Buje frontal varilla guía posicionador en eje X.

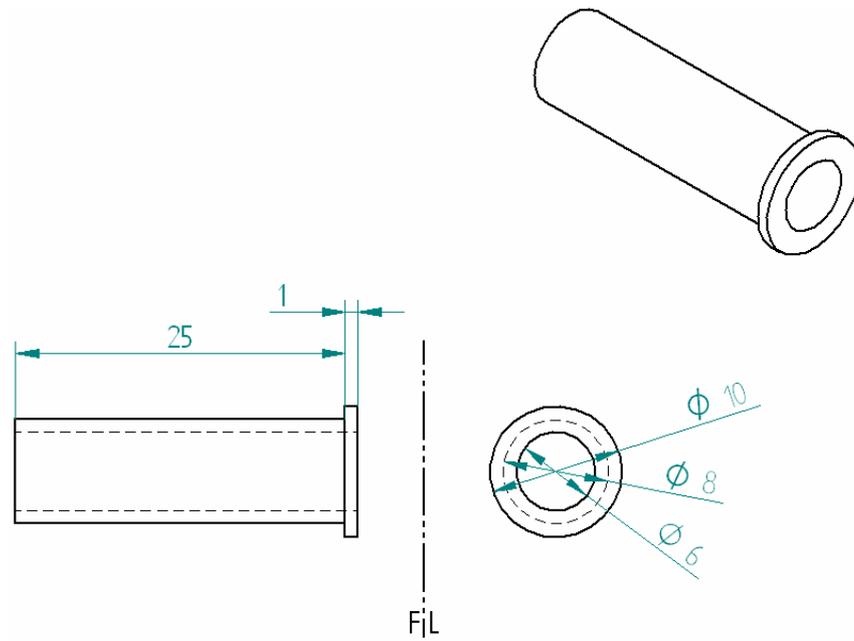


Figura 27: buje eje guía posicionador en eje X.

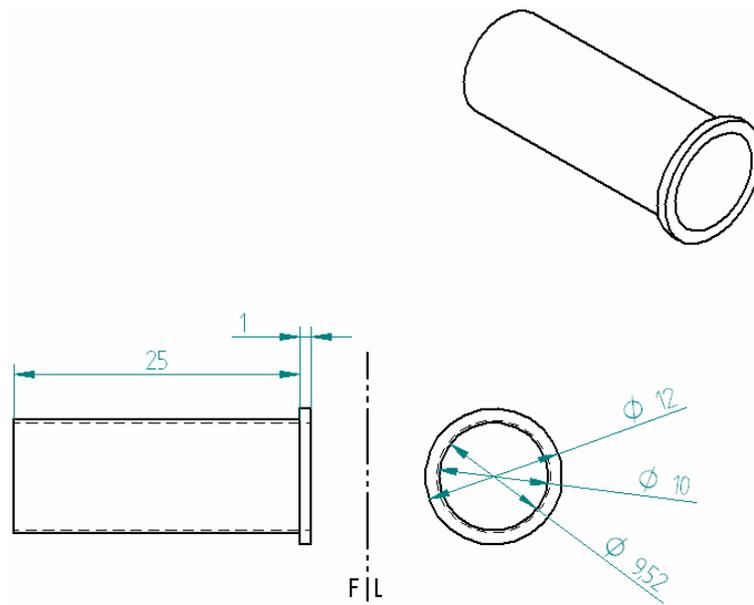


Figura 28: buje posterior varilla guía posicionador en eje X.

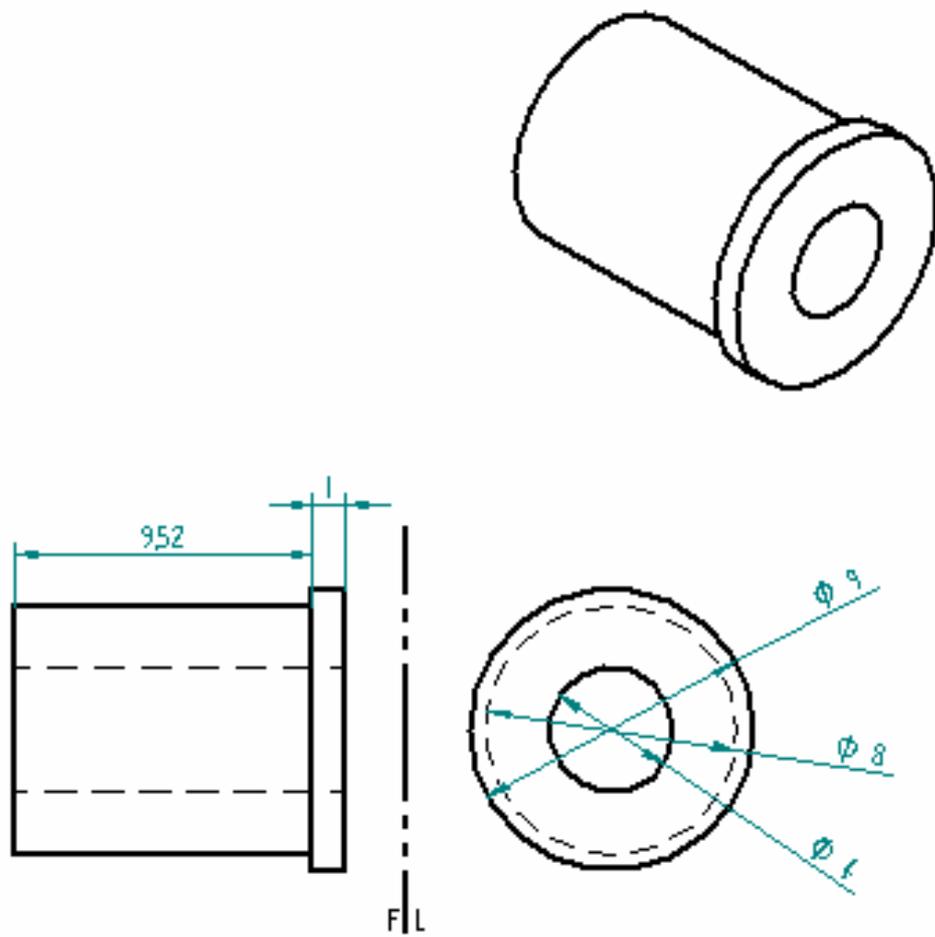


Figura 29: platina intersección ejes XZ.

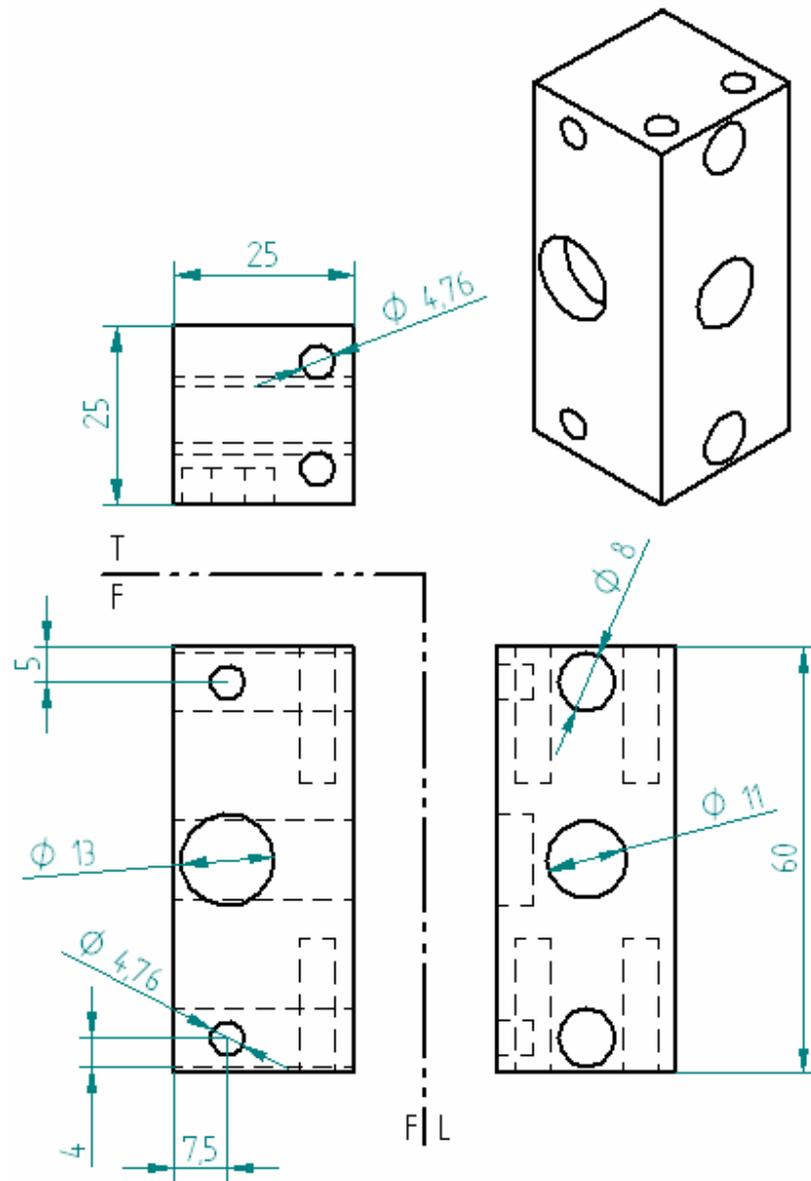


Figura 30: posicionador en eje X.

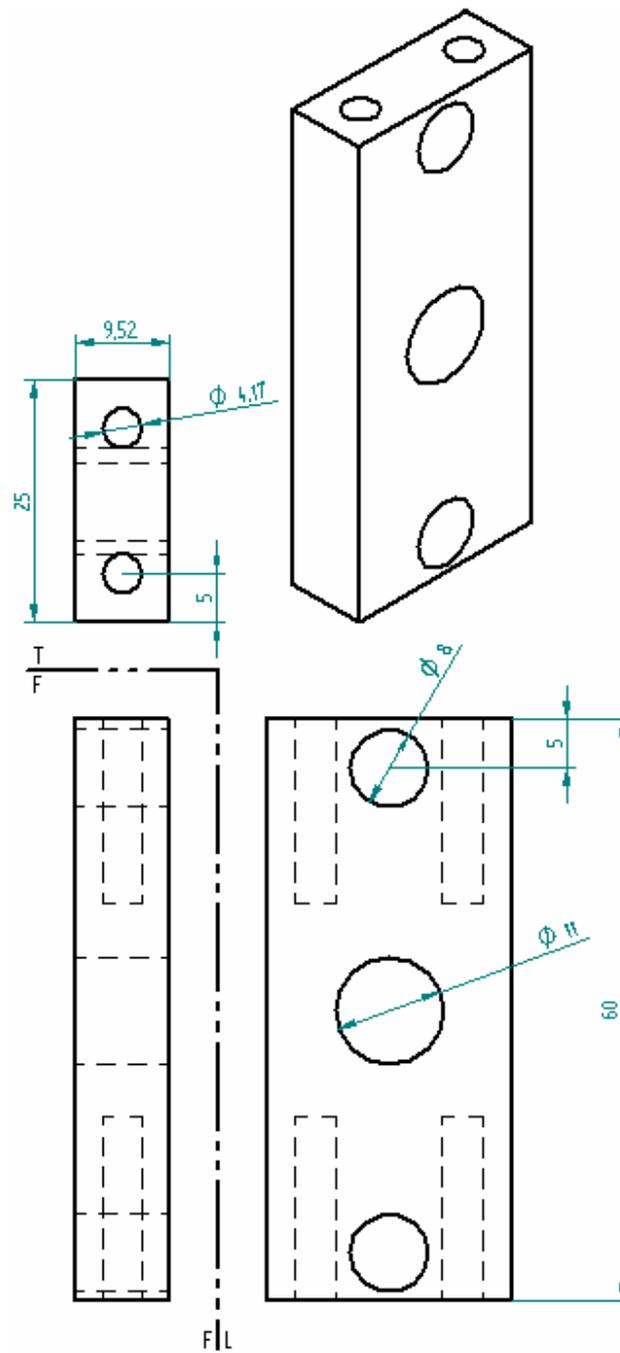


Figura 31: unión lateral posicionador en eje X

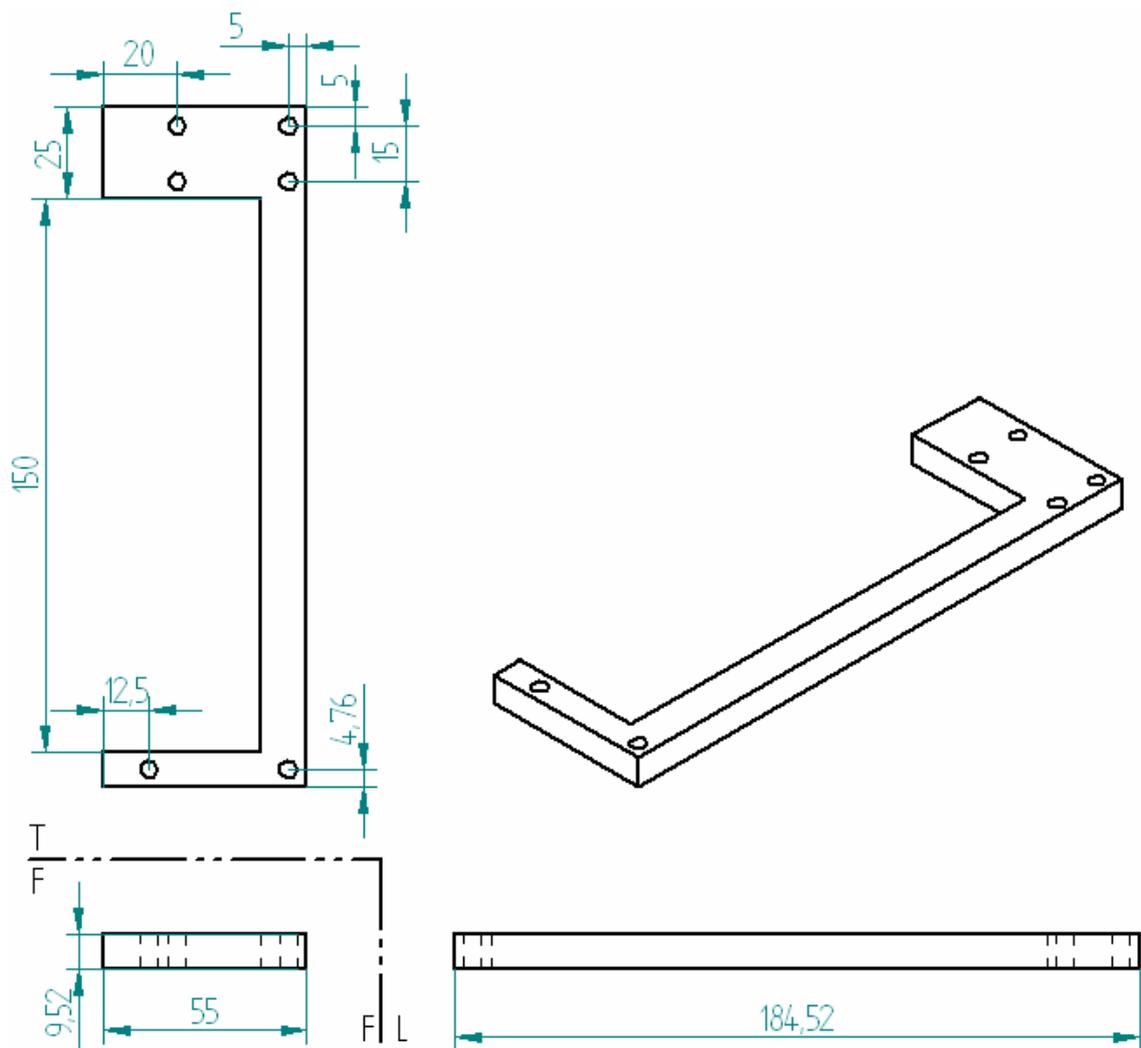


Figura 32: platina superior posicionador en eje X

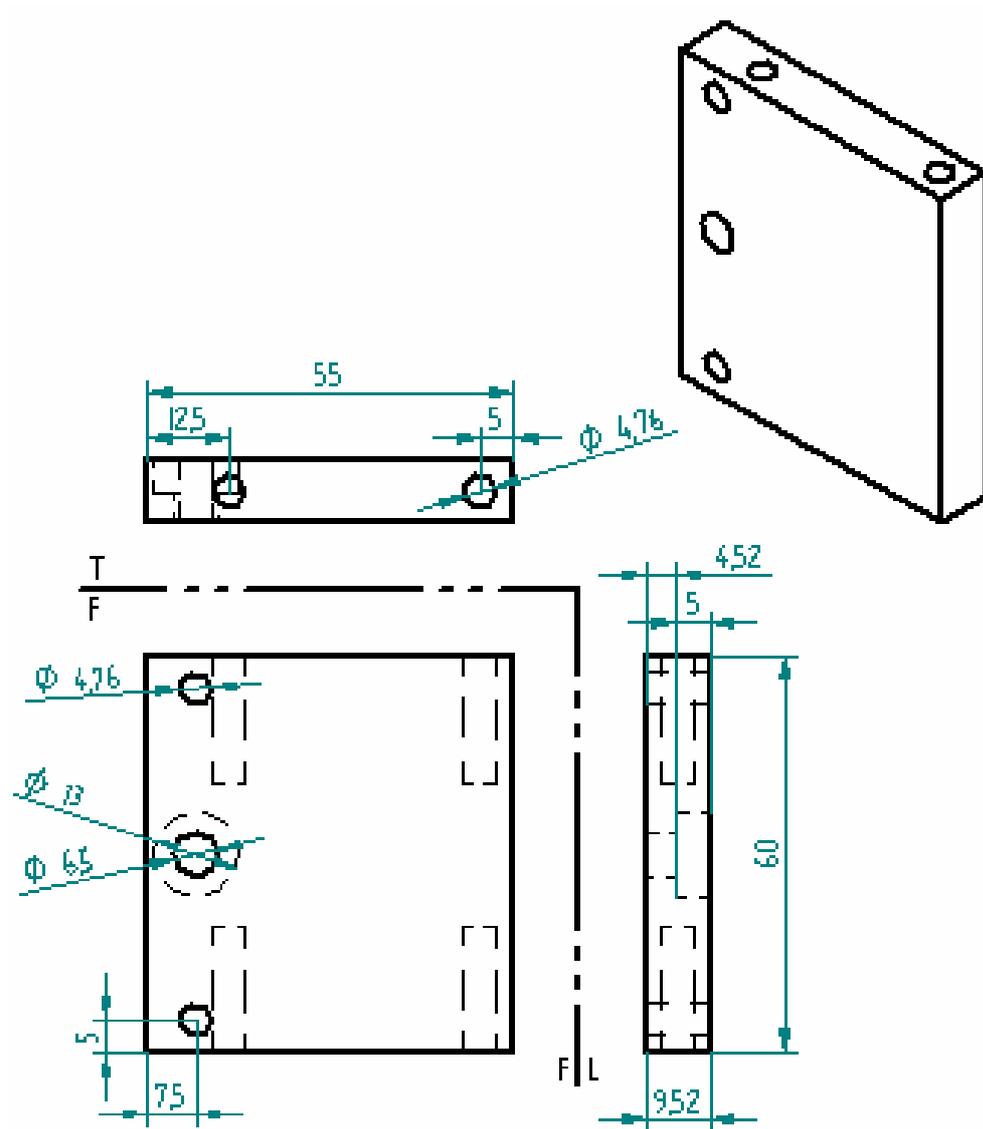


Figura 33: varilla guía posicionador en eje Z

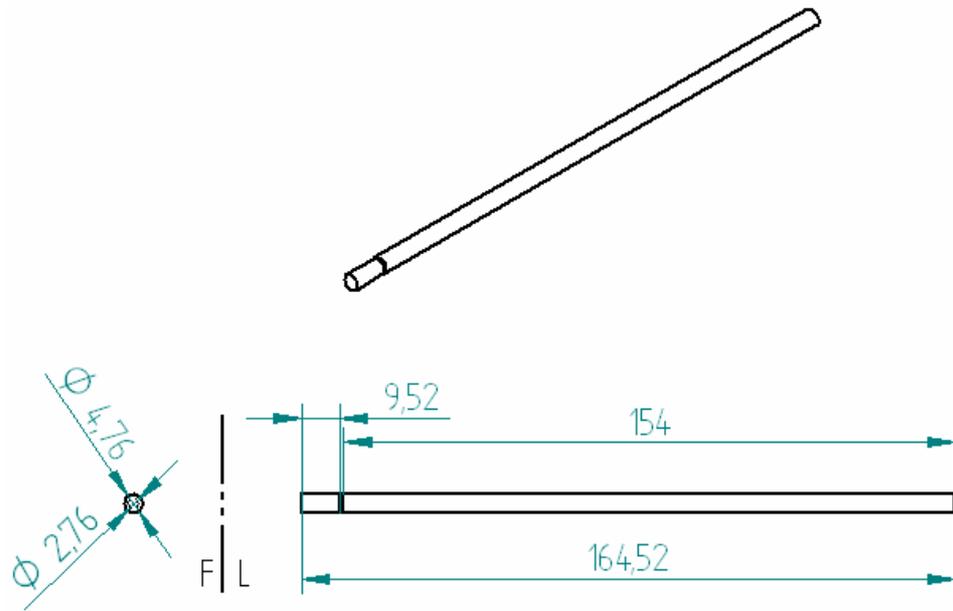


Figura 34: eje guía posicionador en eje Z

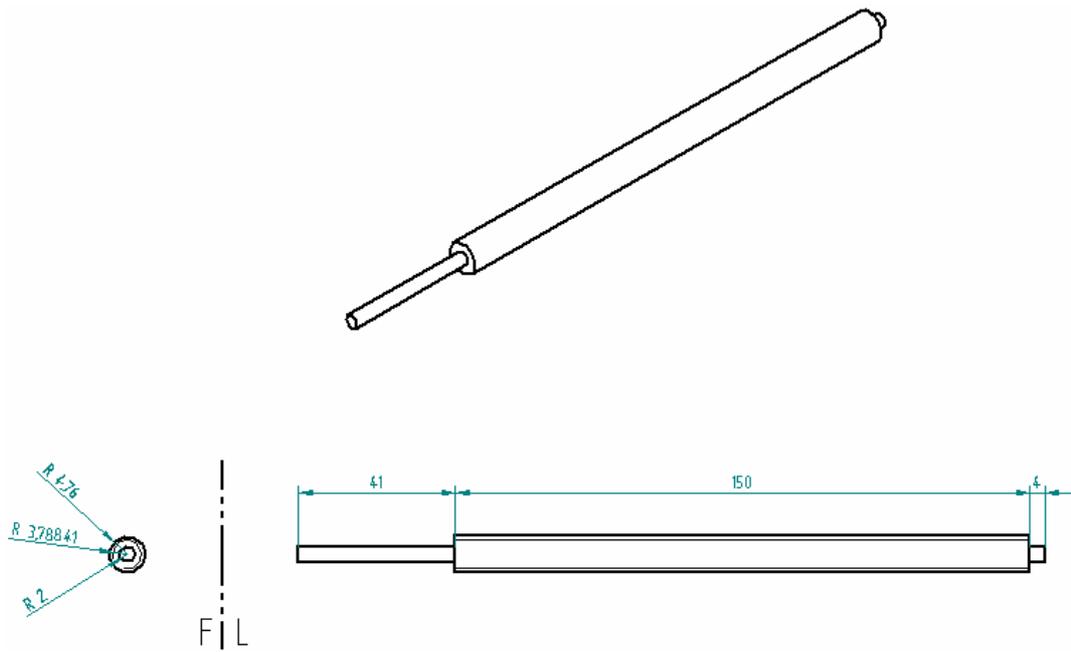


Figura 35: buje varilla guía posicionador en eje Z

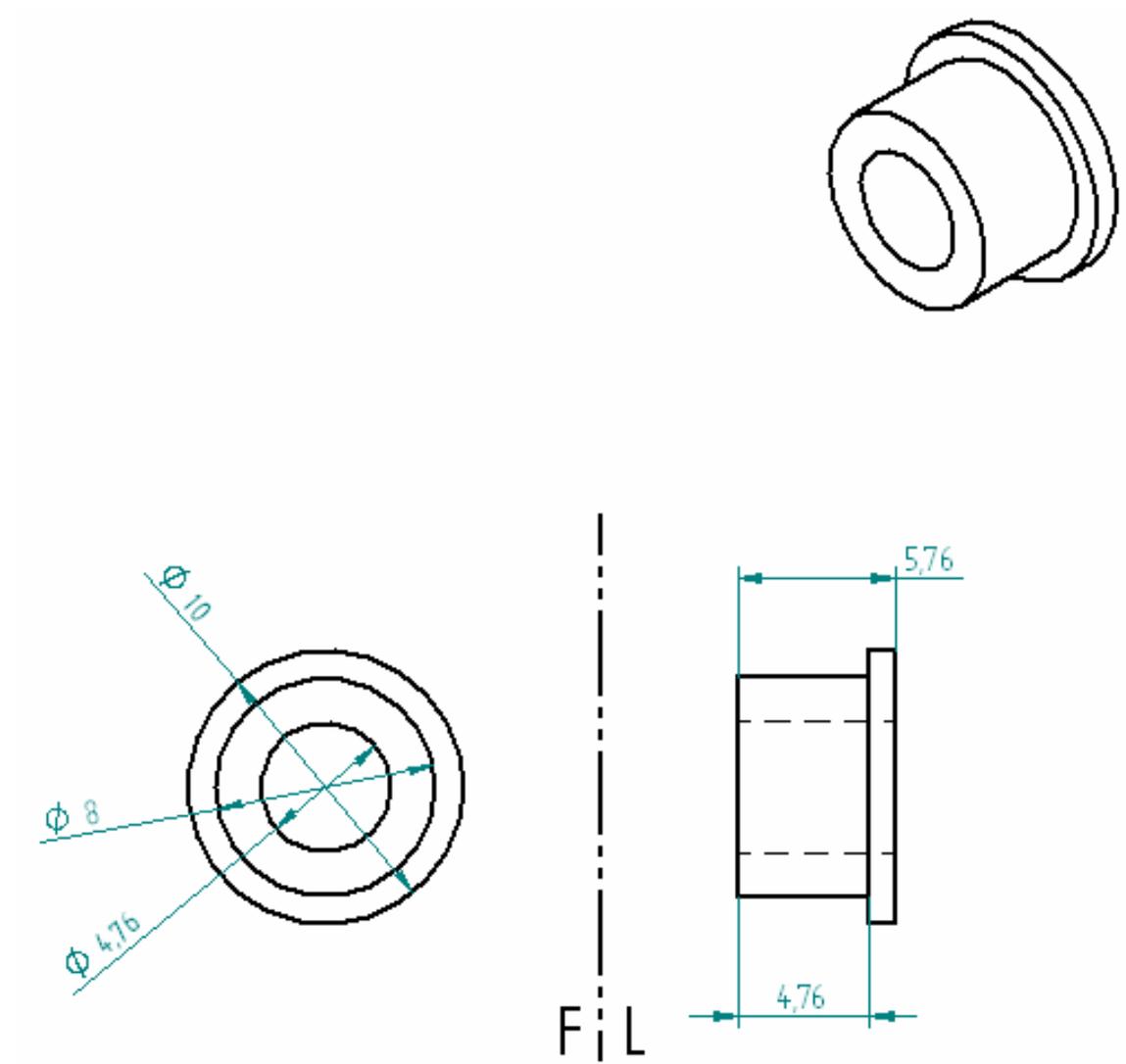


Figura 36: buje eje guia posicionador en eje Z.

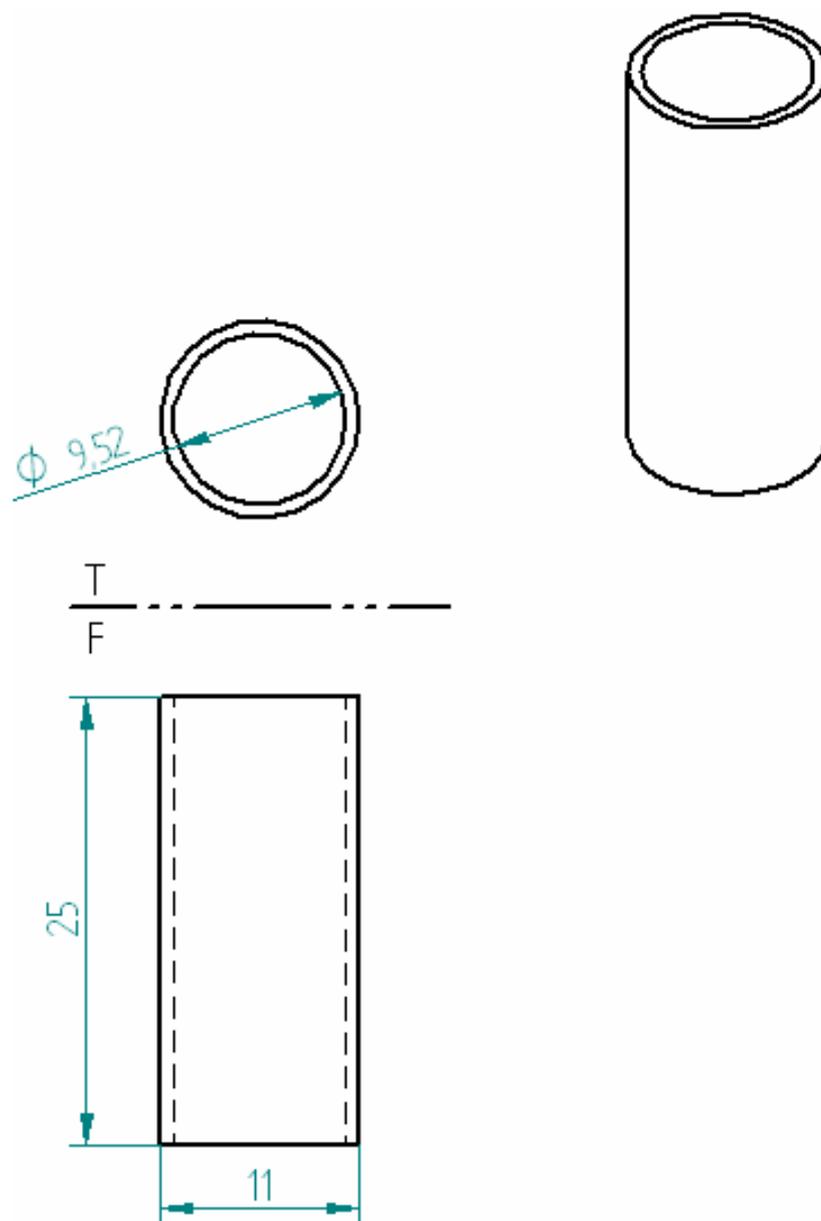


Figura 37: posicionador en eje Z

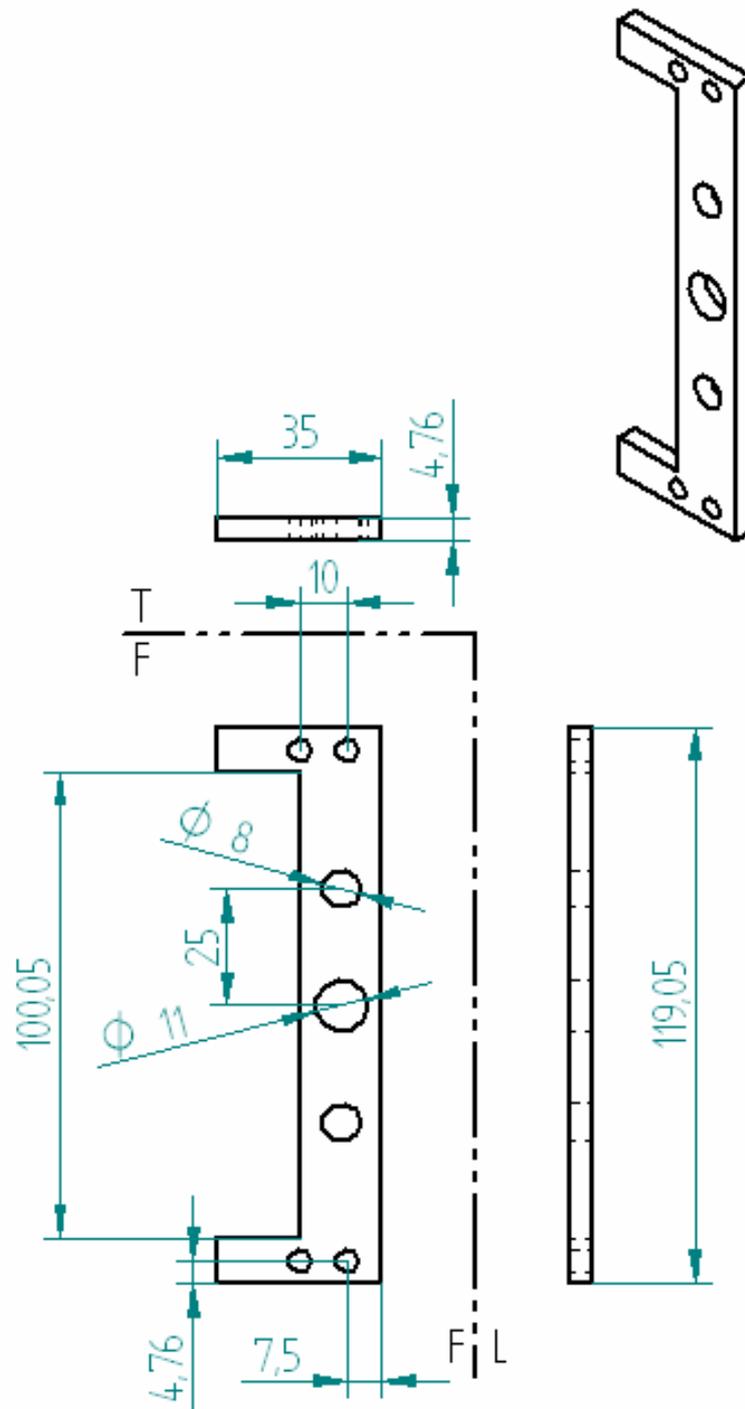


Figura 38: unión lateral posicionador en eje Z

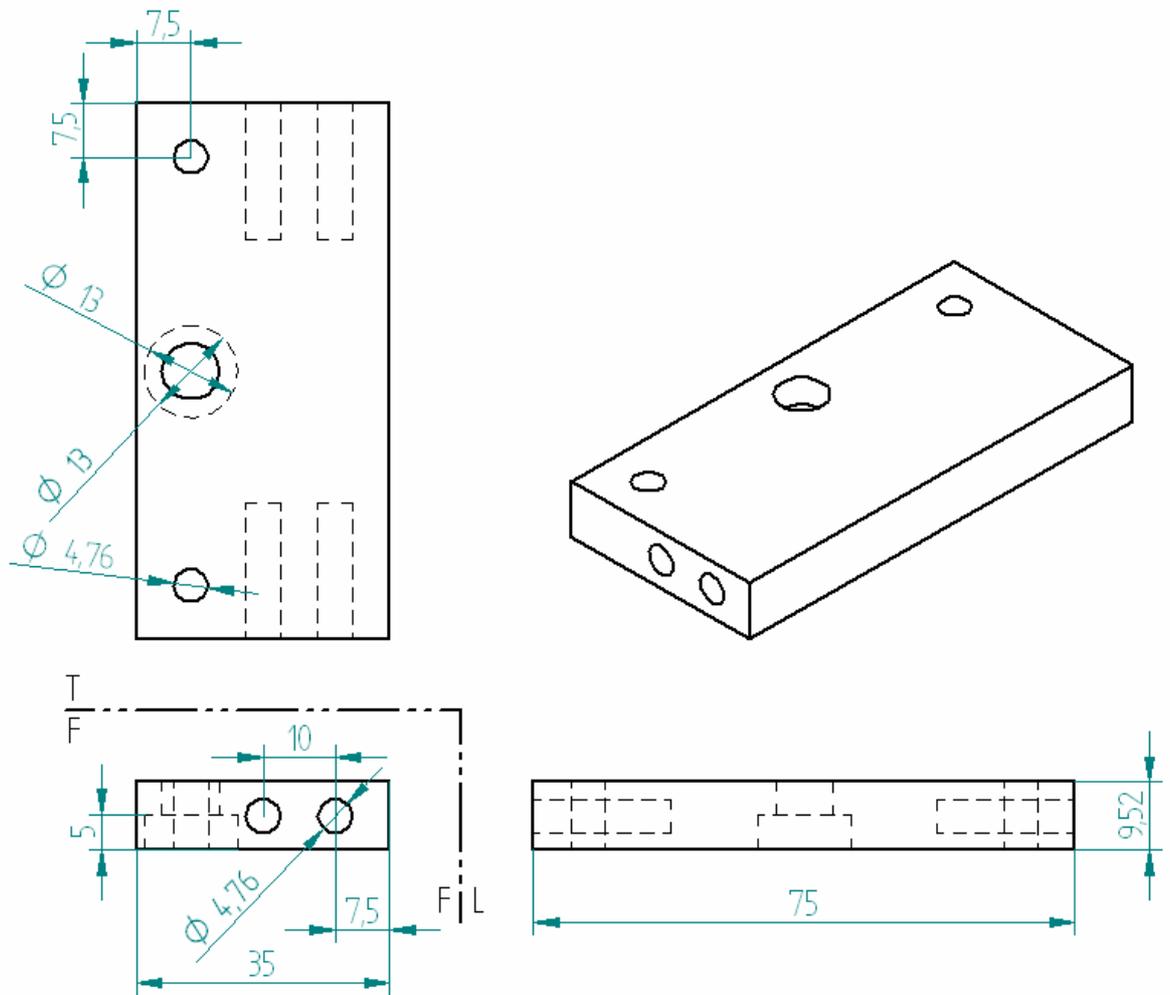


Figura 39: varilla guía posicionador en eje Y

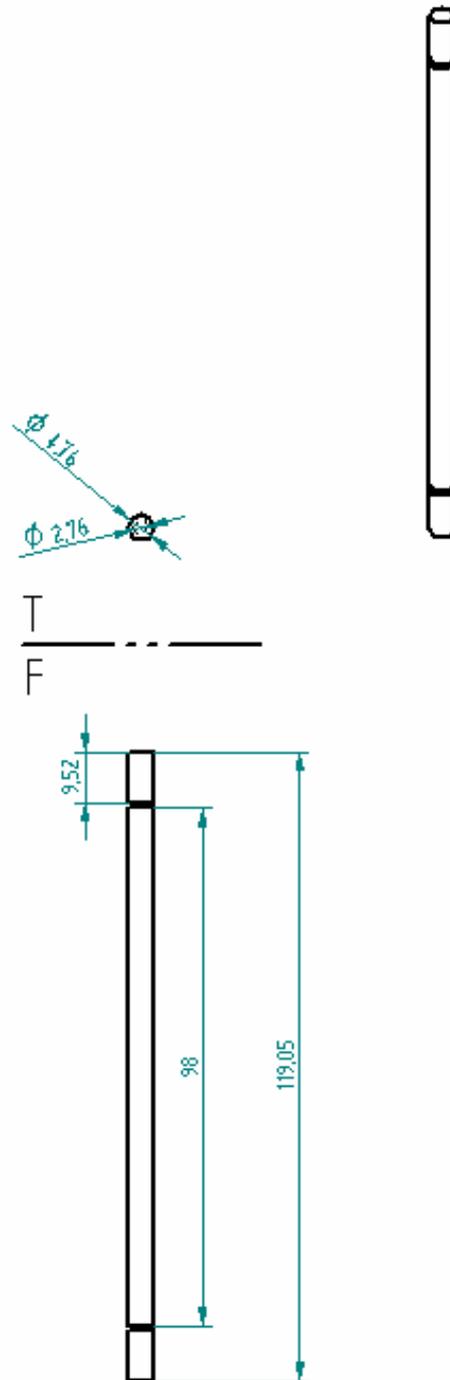


Figura 40: eje guía posicionador en eje Y.

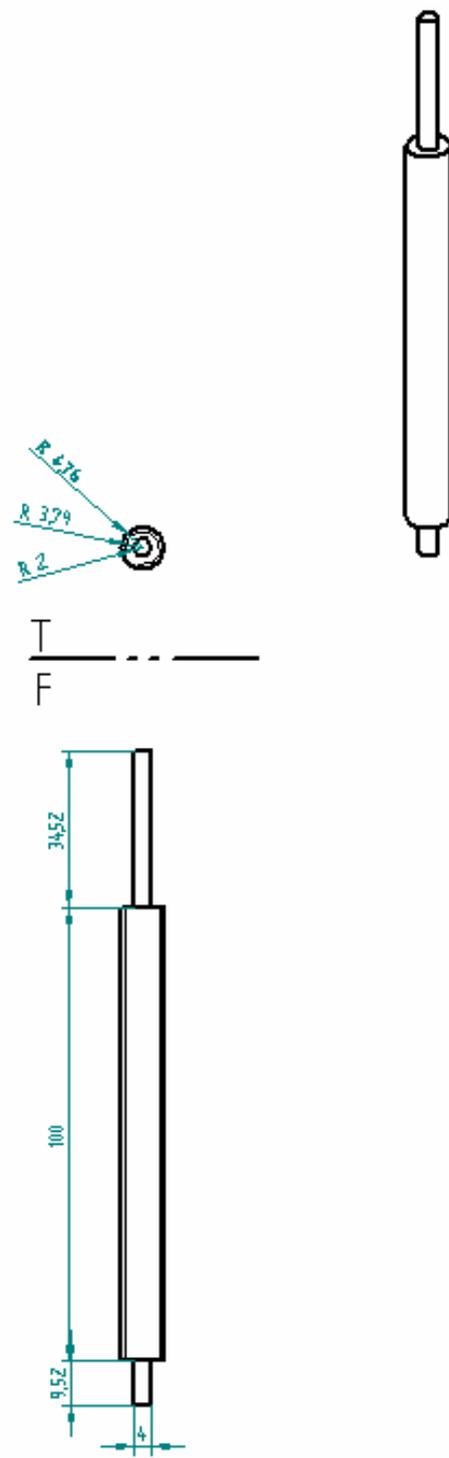


Figura 41: buje varilla guía posicionador en eje Y.

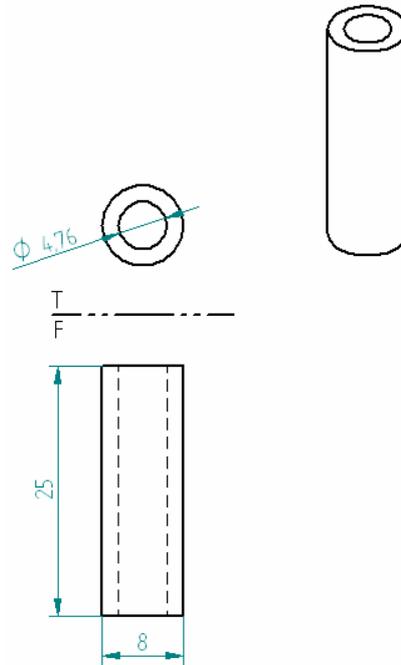


Figura 42: buje eje guía posicionador en eje Y

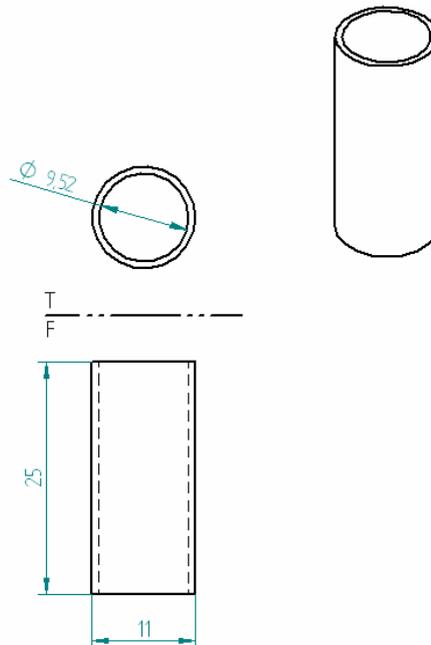


Figura 43: posicionador en eje Y

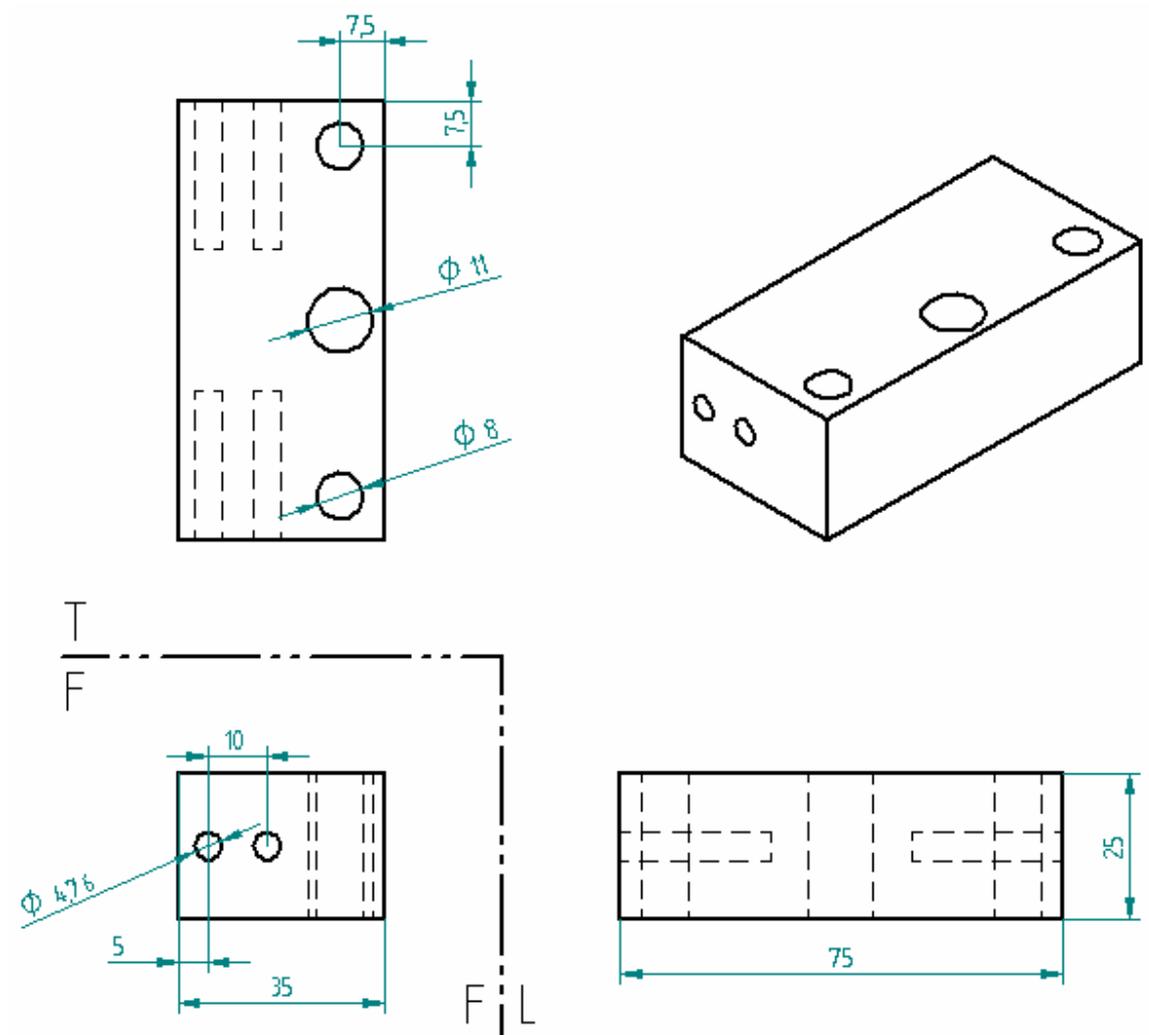


Figura 44: ancla superior del motor

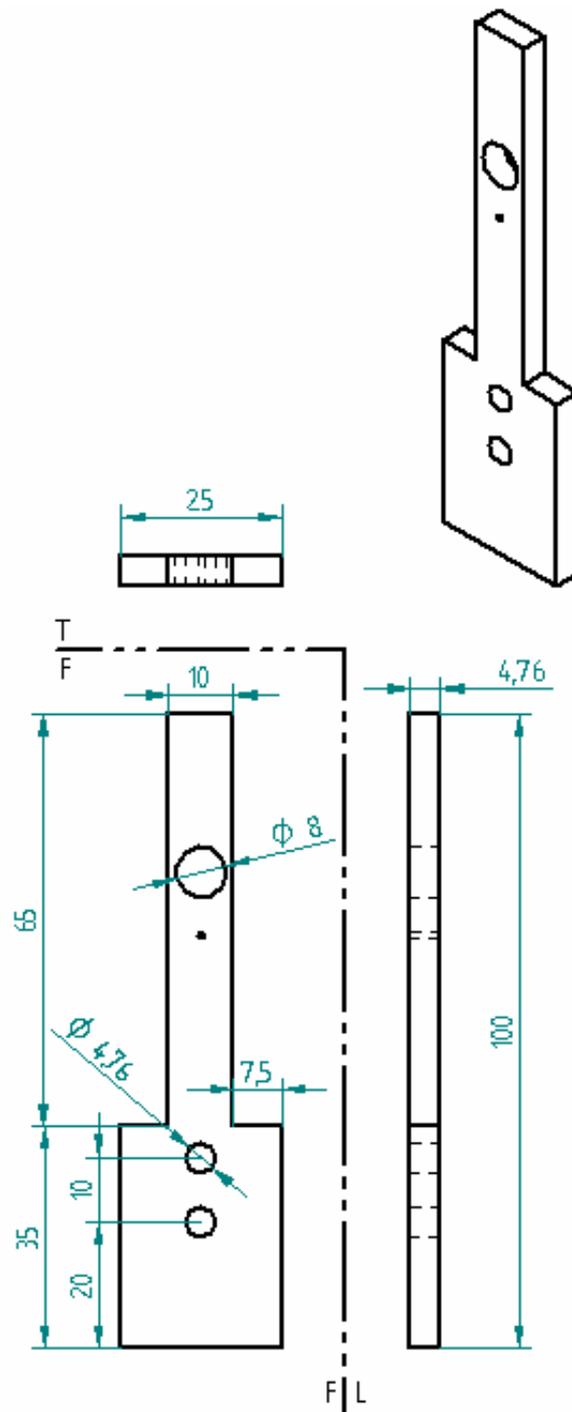


Figura 45: ancla inferior del motor

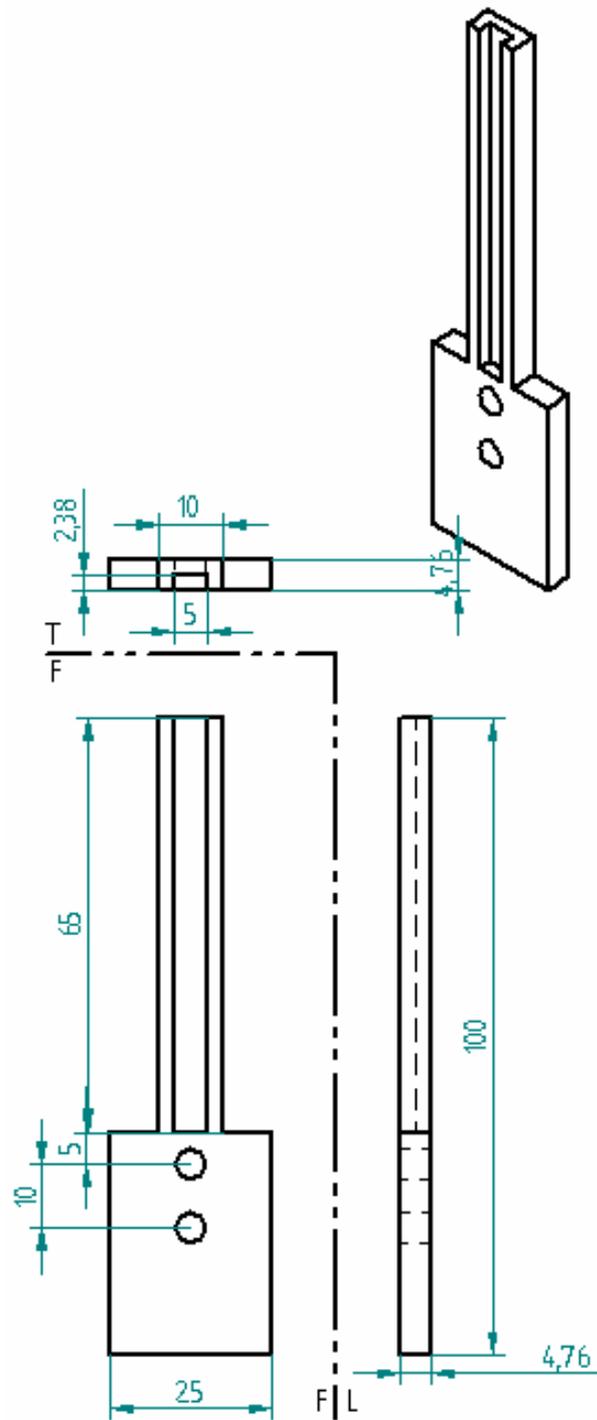


Figura 46: esfuerzo ancla superior del motor

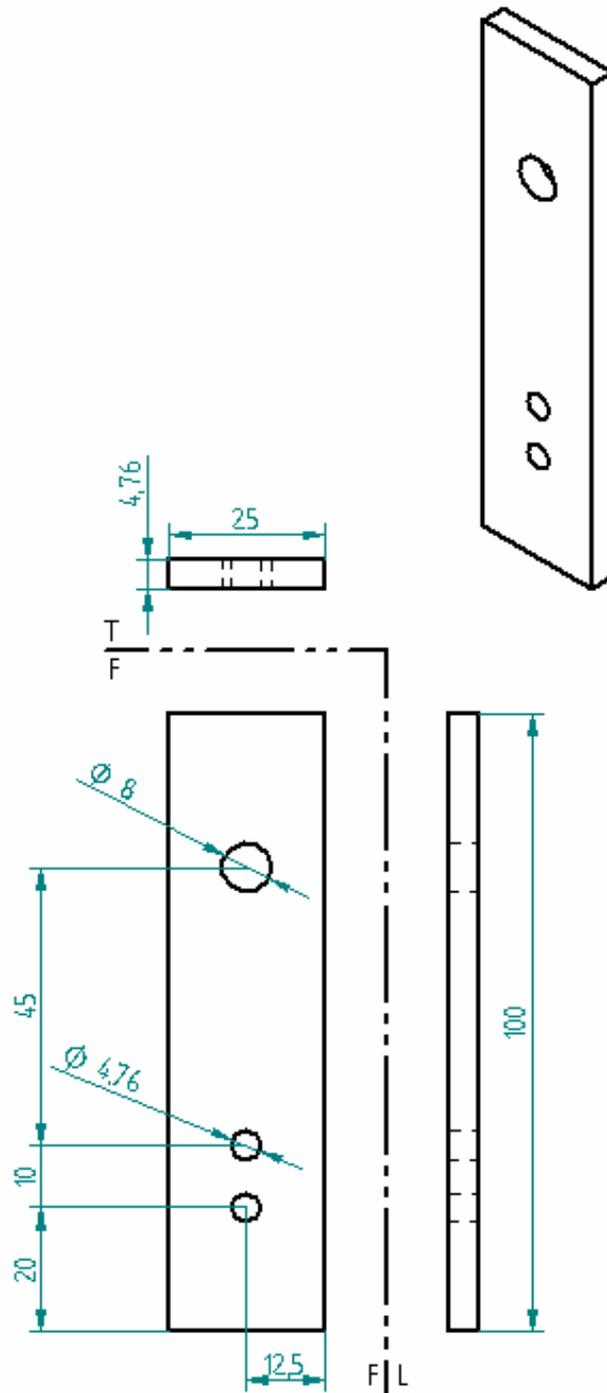


Figura 47: refuerzo ancla inferior del motor.

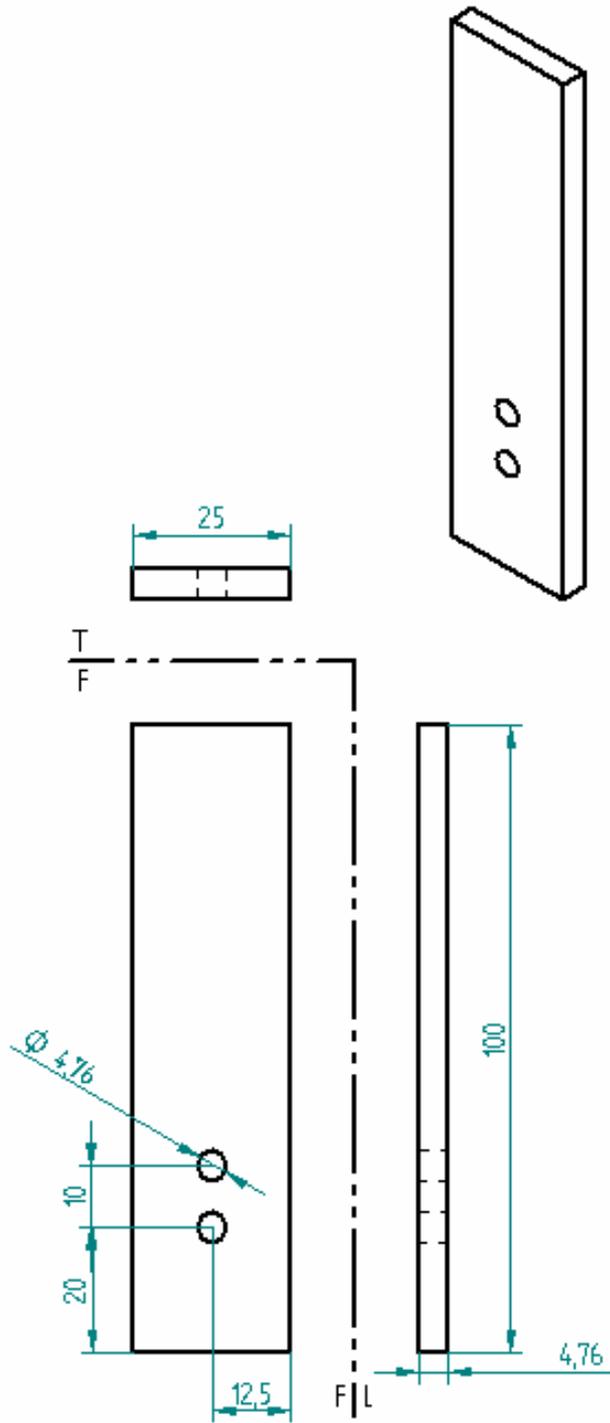


Figura 48: buje ancla superior del motor.

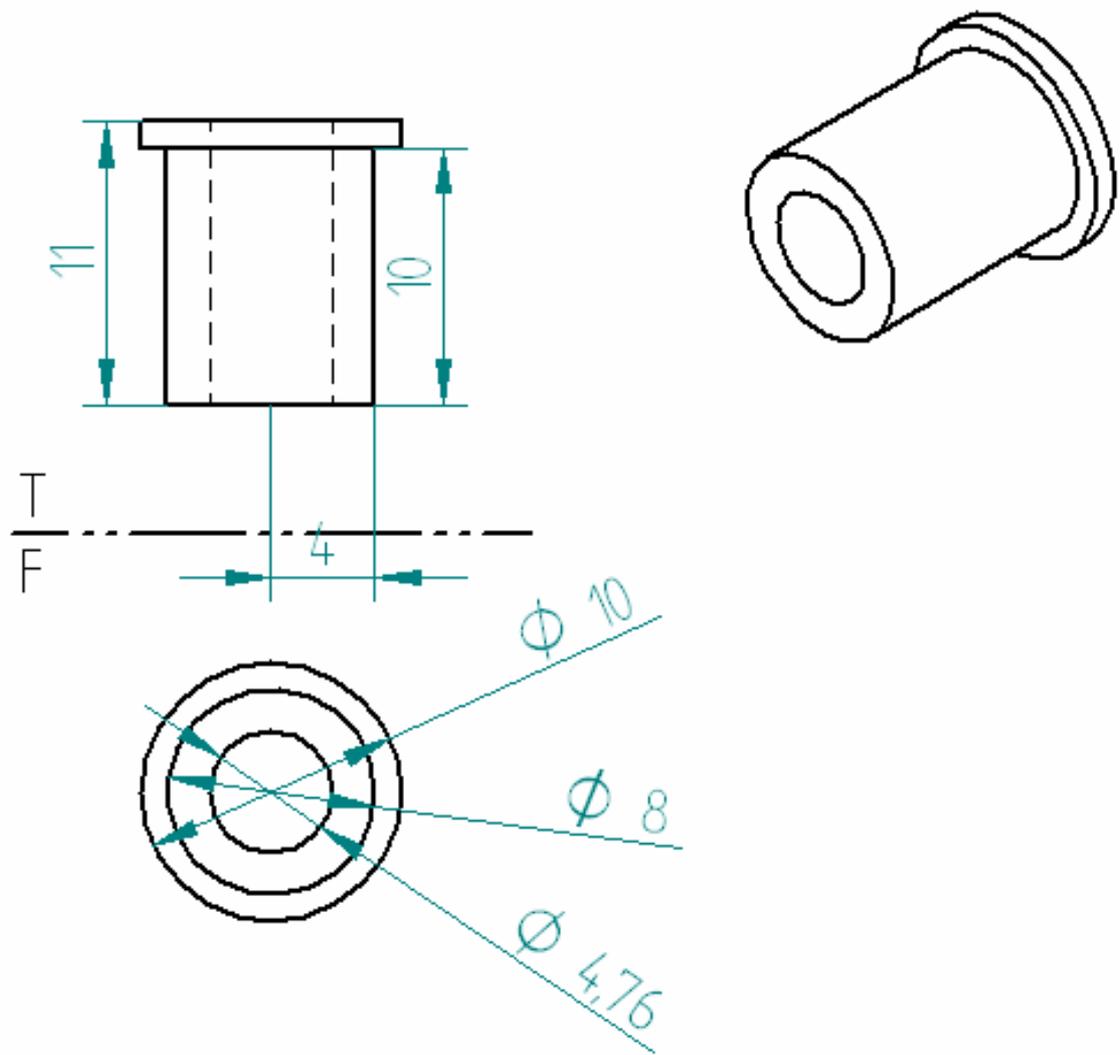


Figura 49: tornillo sujetador del motor.

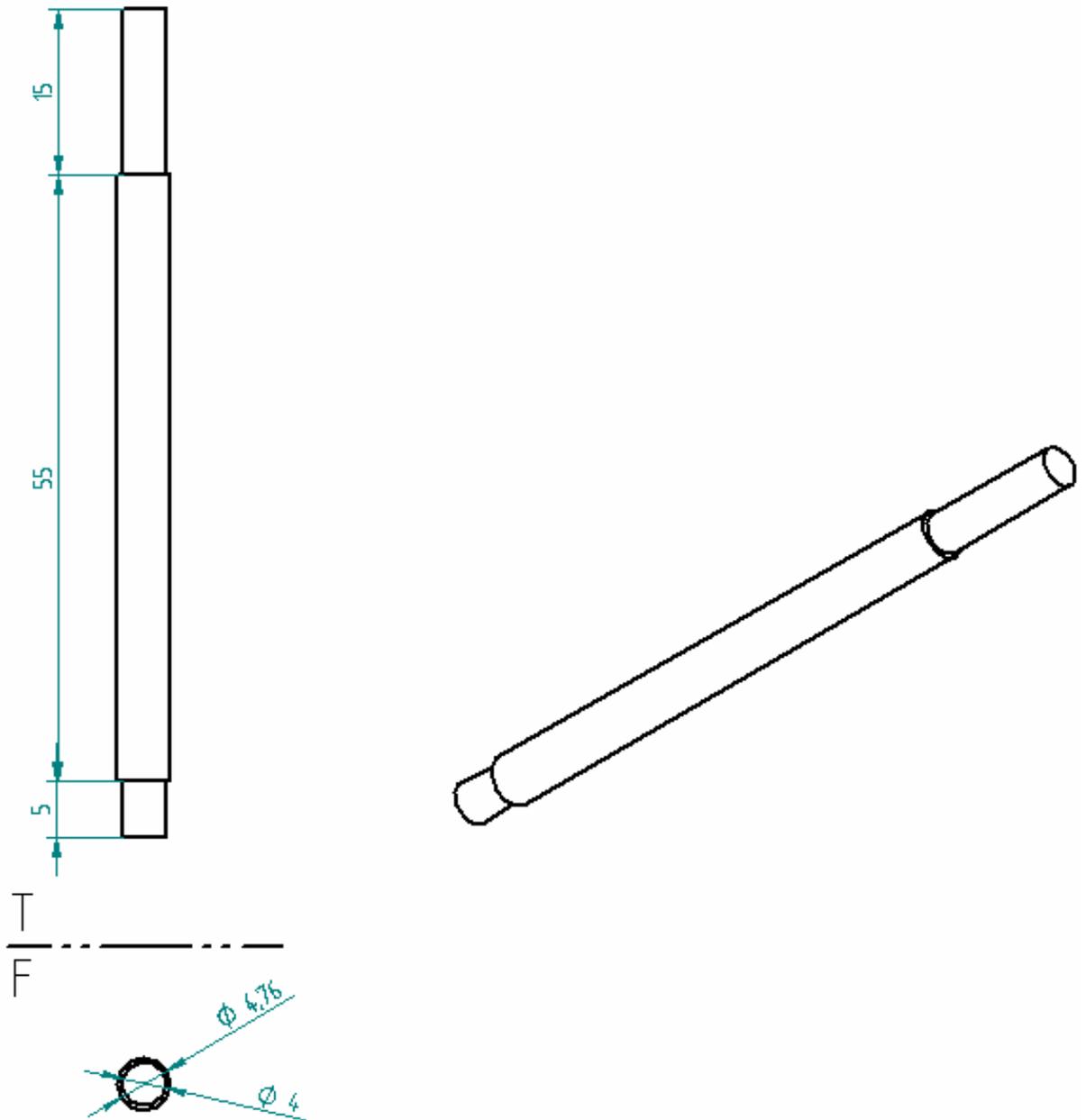


Figura 50: sujetador del motor.

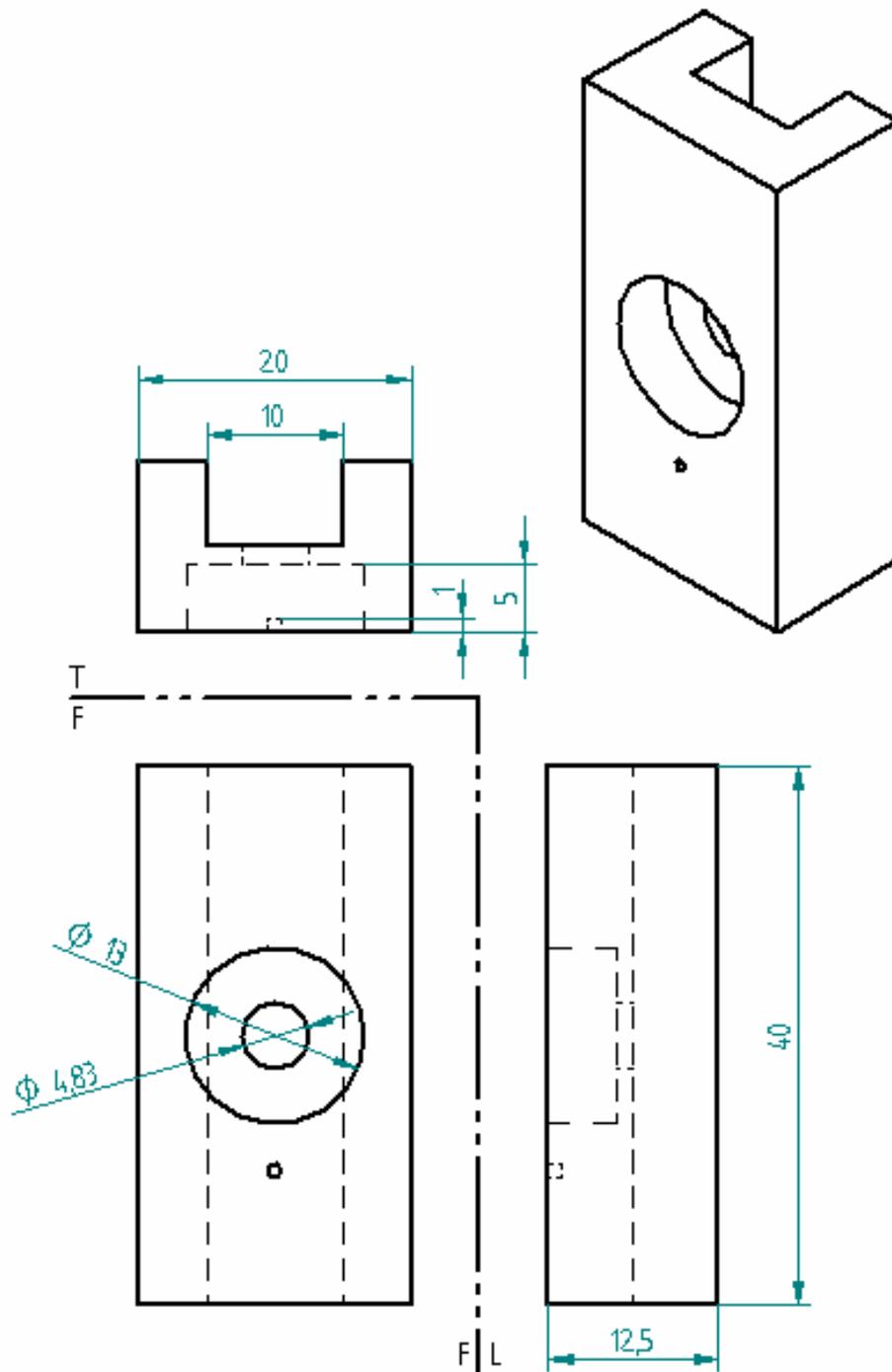


Figura 51: ancla del generador

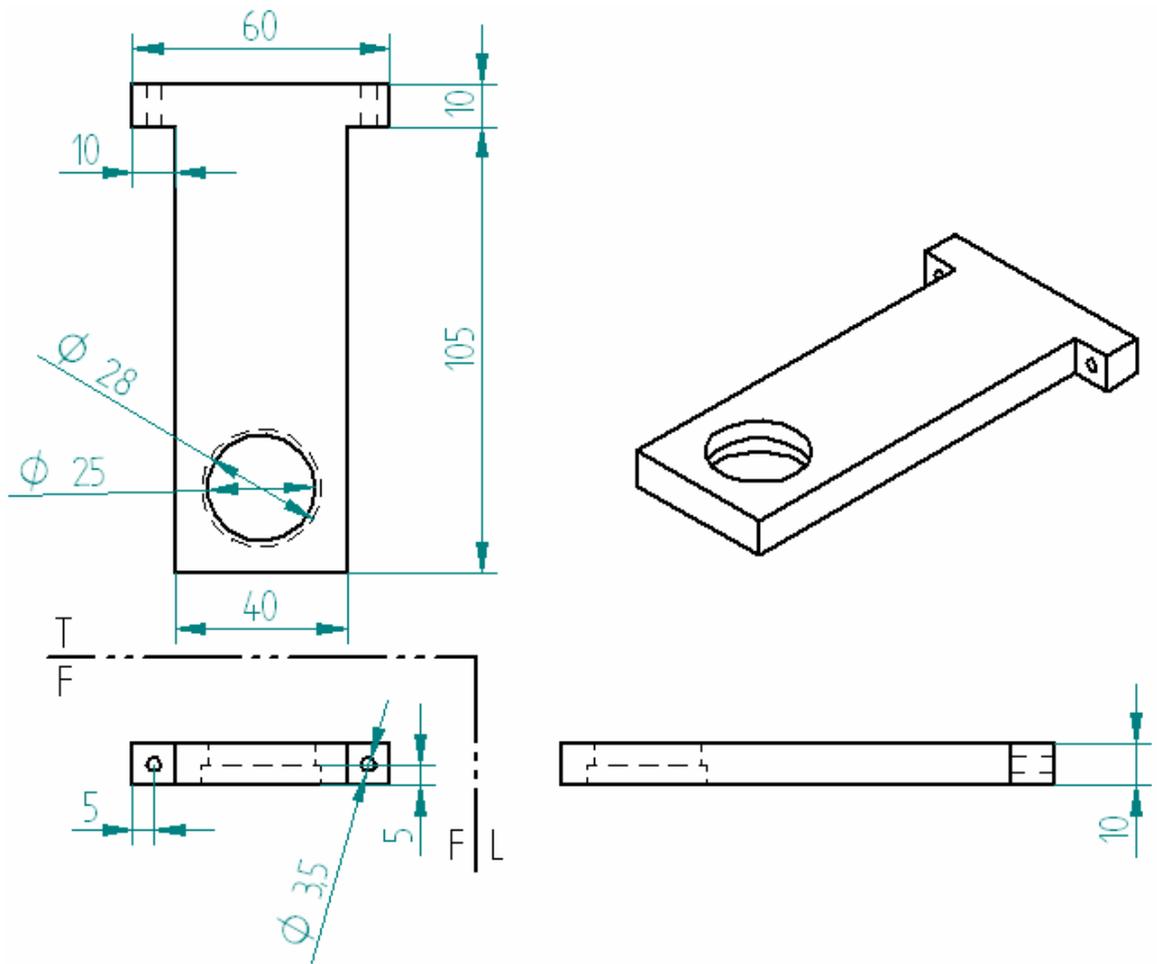


Figura 52: buje frontal del generador.

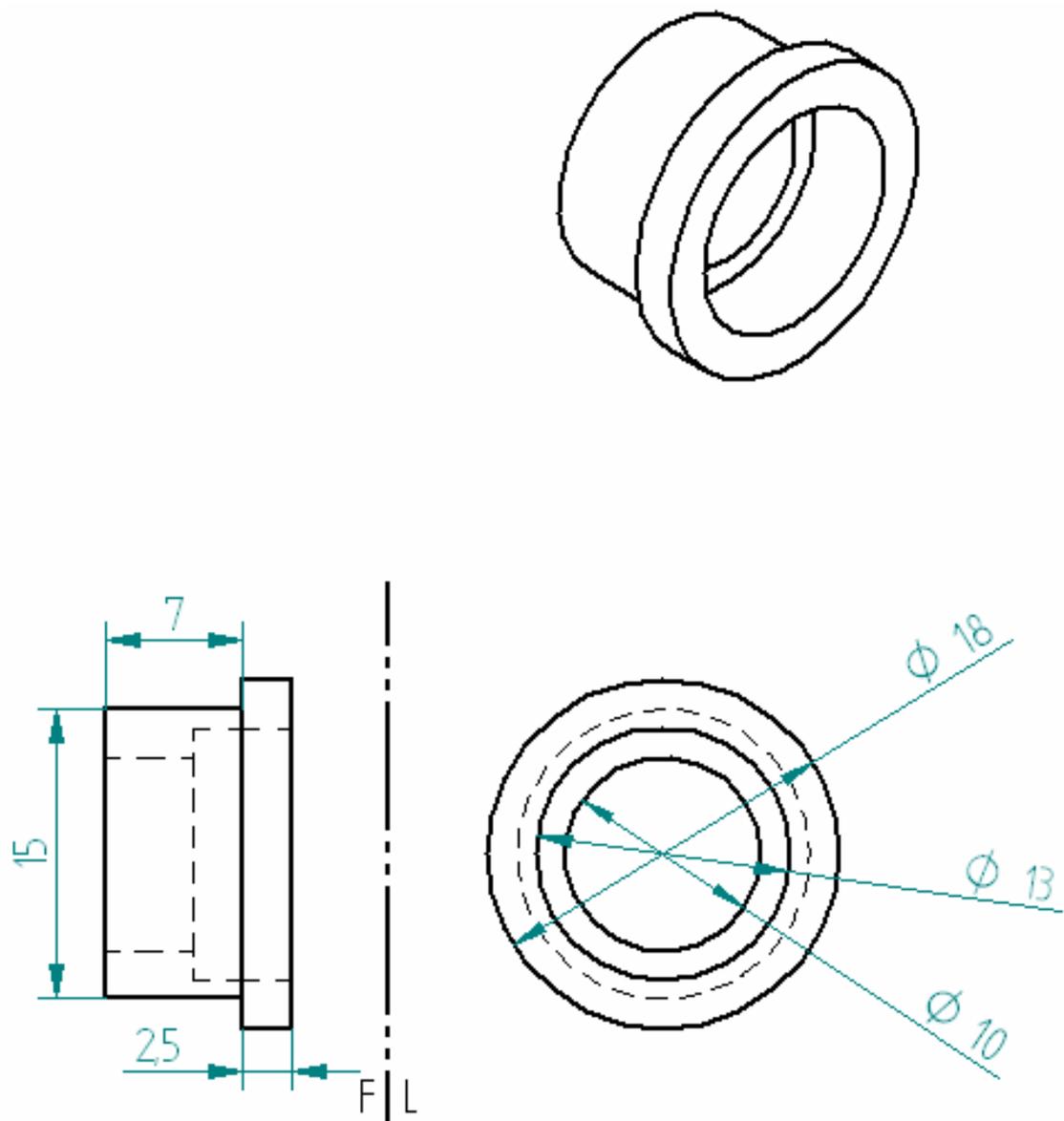


Figura 53: buje posterior del generador.

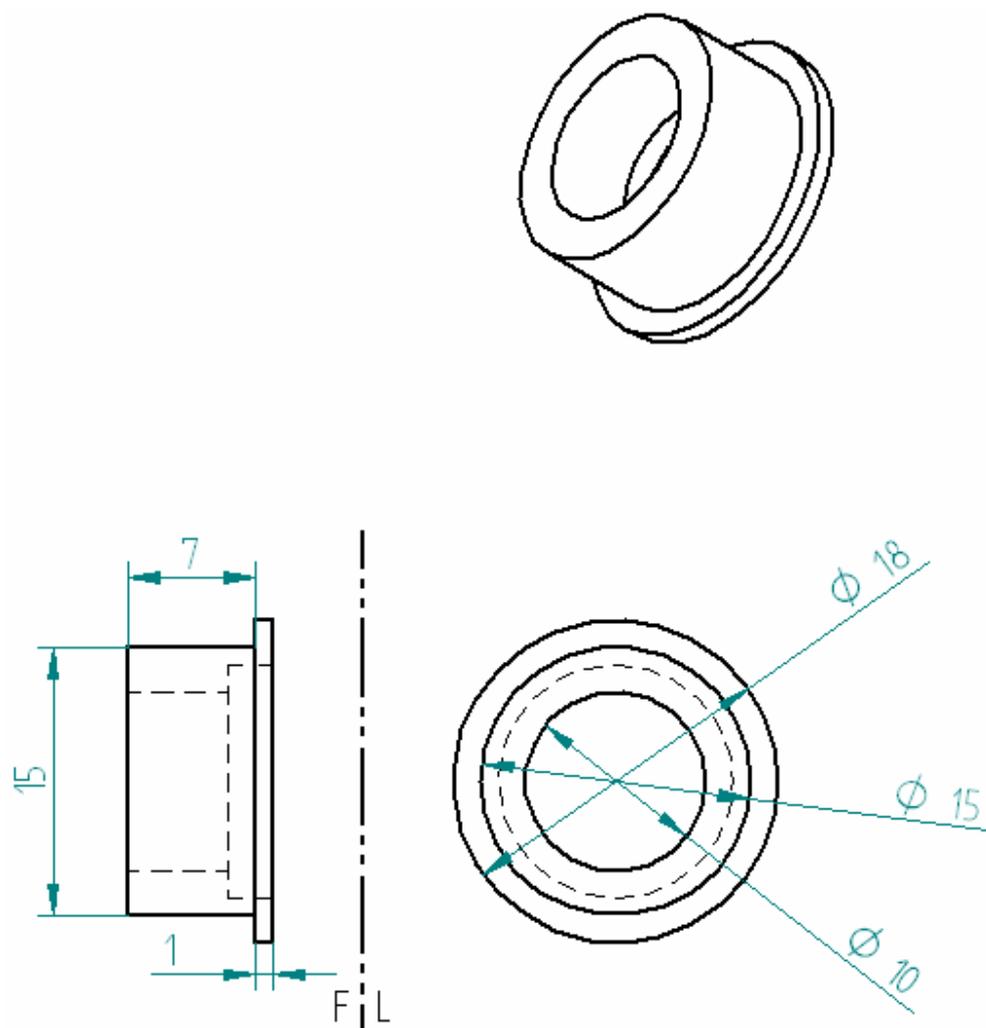


Figura 54: buje ancla del encoder

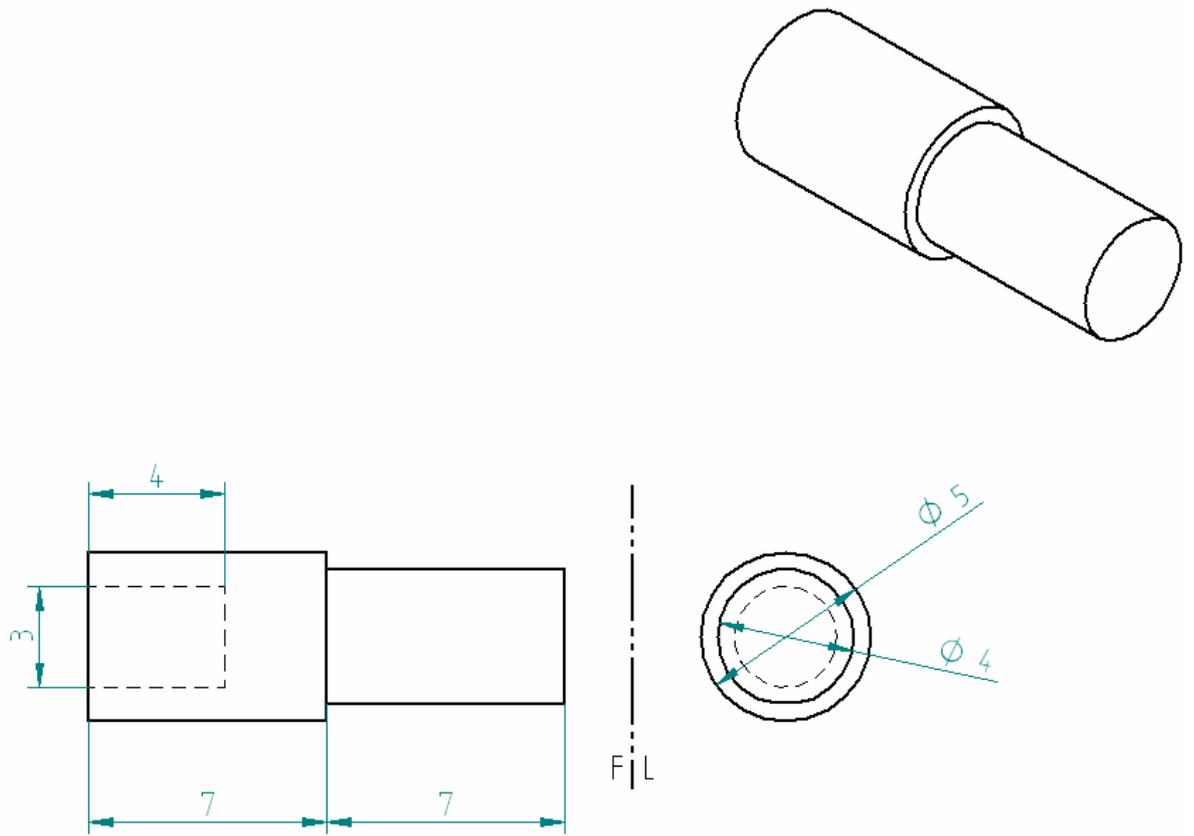
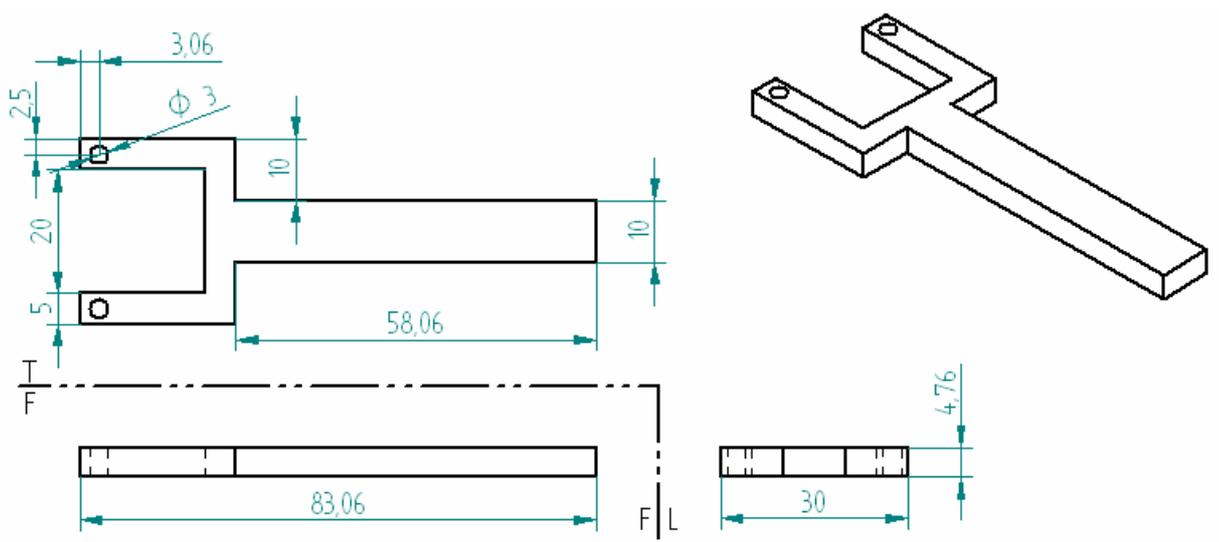


Figura 55: barra torsora



5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para caracterizar un motor d.c. se invierte algo más de dos horas, con el banco de pruebas, se reduce el tiempo en más del 90%, es decir no se emplea más de 10 minutos.

Los valores medidos se pueden observar en una pantalla LCD de 2x16 la cual muestra los resultados obtenidos después de cada prueba con un retardo de dos segundos. Estos resultados deben ser anotados en un formato que se muestra a continuación en la tabla 5.

Tabla 5: Formato para graficar características del motor.

Prueba #	Potencia (Watt)	Torque (N*m)	Velocidad Angular (RPM)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Una vez llenada la tabla con las características pedidas se procede a ingresar los datos en el software desarrollado en Matlab o en cualquier otro programa tal como Excel...

Para realizar la presentación de resultados se instaló en el banco de pruebas para motores d.c. baja potencia un motor, el cual fue usado por usado por estudiantes en proyectos anteriores. Este motor tiene unas dimensiones las cuales favorecen al anclaje en el banco de pruebas, además cuenta con una caja reductora. En la tabla 6 se puede observar los resultados obtenidos.

Tabla 6: resultados obtenido en mediciones con el banco de pruebas.

Prueba #	Im (mA)	Fg (gr)	Velocidad Angular (RPM)
1	70	0	148
2	80	0	146
3	85	20	138
4	100	25	138
5	120	32	128
6	140	45	125
7	154	56	124
8	162	69	112
9	178	75	108
10	210	92	104

Una vez se tenga el formato completamente lleno con los valores mostrados en la LCD podemos sacar condiciones especiales de funcionamiento. Después de analizar los resultados se procede a ingresar los resultados de las mediciones en el software uno a uno como el programa lo indica, este realizara las respectivas graficas de torque vs velocidad angular y potencia vs velocidad angular y obtenemos los resultados que se observan en las figuras 55 y 56.

Resultados que arroja el software:

```
clc
clear all
```

```
disp('BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES d.c.')
```

```
v = input('Valor del voltaje de operación del motor (12V o 24V): ');
```

```
imd = zeros(1,10);
fgd = zeros(1,10);
veld = zeros(1,10);
torque = zeros(1,10);
potencia = zeros(1,10);
```

```
i=0;
while i<10
i=i+1;
```

```
disp('Prueba carga: ')
```

```
im = input('Valor de la corriente que consume el motor: ');  
fgg = input('Valor de la fuerza en la galga: ');  
vel = input('Valor de la velocidad angular (rpm): ');
```

```
l = 0.05;  
fuerza = (fgg/1000)*9.81;  
pot = v*im/1000;  
tor = fuerza*l;
```

```
imd(1,i) = im;  
fgd(1,i) = fgg;  
veld(1,i) = vel;  
torque(1,i) = tor;  
potencia(1,i) = pot;  
end
```

```
plot(veld,torque)  
title('Torque Vs Velocidad angular');  
xlabel('Velocidad angular (rpm)');  
ylabel('Torque (N*m)');
```

```
plot(veld,potencia)  
title('Potencia Vs Velocidad angular');  
xlabel('Velocidad angular (rpm)');  
ylabel('Potencia (W)');
```

```
>> imd  
imd =  
    70    80    85   100   120   140   154   162   178   210  
>> fgd  
fgd =  
     0     0    20    25    32    45    56    69    75    92  
>> veld  
veld =  
   148   146   138   138   128   125   124   112   108   104  
>> torque  
torque =  
     0     0  0.0098  0.0123  0.0157  0.0221  0.0275  0.0338  0.0368  
0.0451
```

>> potencia

potencia =

0.8400 0.9600 1.0200 1.2000 1.4400 1.6800 1.8480 1.9440
2.1360 2.5200

Figura 56: grafica de torque vs velocidad angular.

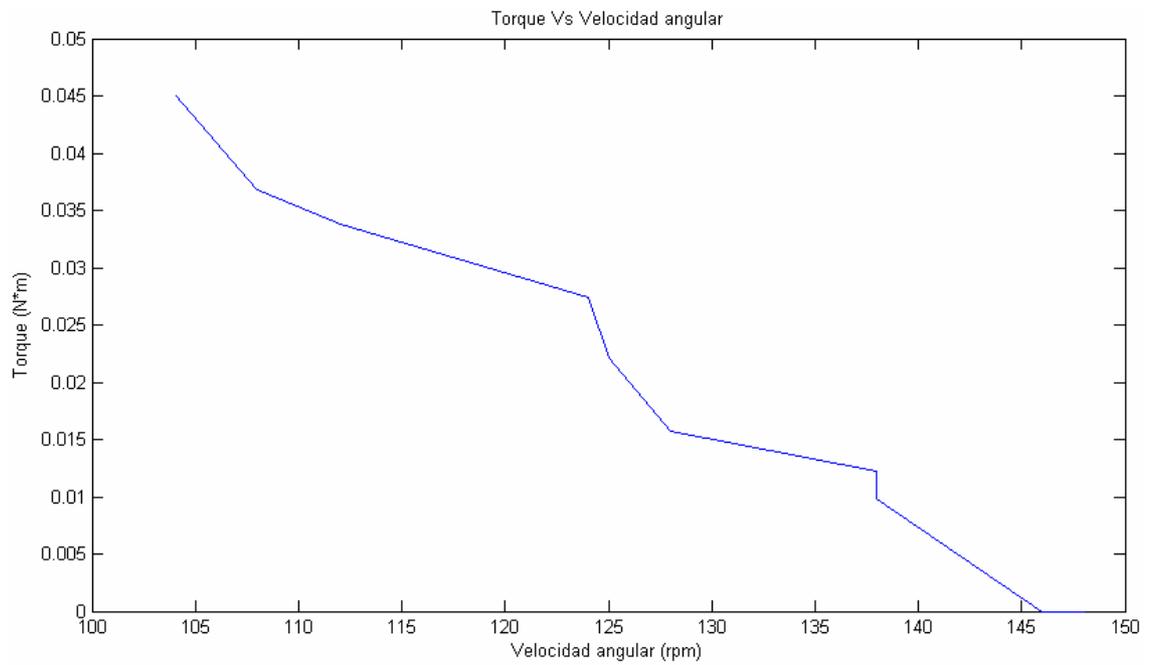
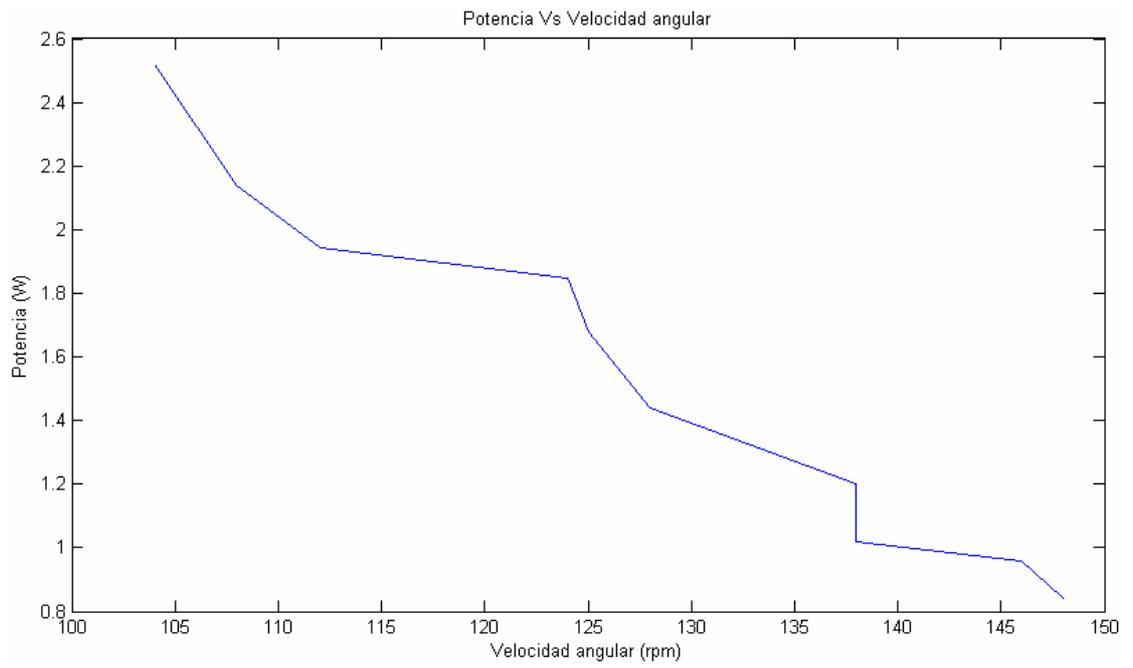


Figura 57: grafica de potencia vs velocidad angular.



6. CONCLUSIONES

Debido a que se utilizó un generador de 12V el cual gira a gran velocidad no es apropiado para caracterizar un motor con caja reductora.

Si se desea usar el generador para este fin es necesario construir un sistema de engranajes el cual aumente la velocidad del motor que se está probando, de esta manera el banco de cargas variaría apropiadamente el torque del motor que se está analizando.

En aras de mejorar el banco de pruebas para motores de baja potencia a tal punto que se obtenga la función de transferencia del motor, es necesario diseñar y construir una caja de velocidades para poder variar las revoluciones por minuto (rpm) a las mismas que trabaja el motor a prueba, y así poder colocar el motor como generador y hacer las respectivas pruebas que exige el proceso para llegar a obtener la función de transferencia, evitando así la necesidad de tener dos motores iguales para poder hallar la función de transferencia.

7. RECOMENDACIONES

Para usar adecuadamente el banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia, es necesario:

El motor debe ser correctamente ubicado en las platinas de sujeción, al ser ajustado se debe aplicar una fuerza apropiada en la manija sin forzarlas debido a que una fuerza desmedida ocasionará que las platinas se flecten.

Se debe alinear correctamente el eje del motor con el eje del generador el cual tendrá un acople. Una vez alineado se introduce en el acople moviendo lentamente la manija de avance frontal hasta introducir parte del eje suficiente para que el prisionero asegure el eje. Al introducir el eje del motor por ningún motivo se debe forzar su entrada en el acople debido a que podría flectar el sistema de acople del generador.

La galga extensiométrica debe ser colocada cerca a la palanca anclada al generador de modo que al estar la palanca en posición horizontal toque en todo el centro el peso de error puesto sobre la galga.

Cuando se realizan las conexiones eléctricas del motor y el generador, se debe evitar que algún cable toque parcial o totalmente el banco de pruebas debido a que está construido en aluminio el cual es material conductor.

Recomendaciones para mejorar el banco para motores d.c. de baja potencia:

El generador no representa una carga apropiada cuando se desea caracterizar motores con reductor, debido a que la velocidad de giro es baja y el generador no genera un voltaje considerable. Por esta razón se ha puesto el generador a girar en sentido contrario al motor y así servir como carga considerable para el motor.

El banco de pruebas podría funcionar correctamente haciendo mediciones en motores con reductor adicionándole en el acople una caja de velocidades que permita que el generador conectado a un banco de relés con cargas genere un voltaje considerable que servirá de carga para el motor.

Si se desea probar motores de mayor potencia es necesario rediseñar a escala otra plataforma mecánica similar y cambiar a un generador más potente que serviría de carga bajo el mismo principio de funcionamiento del banco de pruebas para motores d.c. de baja potencia.

Para realizar un correcto modelamiento a un motor d.c. se deben realizar las siguientes pruebas descritas en el trabajo de Investigación y prueba de ensayo-error de alta precisión de motores:

PRUEBAS DE LOS MOTORES

MODELAMIENTO:

PRUEBA # 1. Hallar la resistencia de armadura:

Lo primero que se debe hacer es poner a funcionar el motor hasta que éste se caliente interna y externamente a la temperatura ambiente, más exacto, una temperatura leve superior a la de ambiente... de acuerdo a esto como mínimo 20 minutos de funcionamiento, es vital la precisión de esta prueba puesto que es el valor más influyente en la función de transferencia.

PRUEBA # 2. Hallar la constante contra-electromotriz y constante de torque:

Una vez que el motor este caliente hay que ponerlo a funcionar como generador, entonces medimos la velocidad en RPM y luego se pasa a radianes/segundo. Para esto pues lo ponemos como generador es decir que con otro motor le inducimos velocidad a éste, y luego por 10 segundos los ponemos a funcionar y con un hilo miramos el numero de vueltas que dio el motor en estos 10 segundos...(mientras esto miramos el voltaje que se genera en la terminales del motor).. Luego pasamos esta velocidad a RPM y luego a radianes/segundo.... esto se hace multiplicando por 63,2.

Entonces la constante contra-electromotriz K_b es igual al voltaje generado en terminales sobre la velocidad.

$$K_b = \frac{V_b}{\omega}$$

Únicamente si el motor es moto reductor, la constante de torque es igual a la constante contra-electromotriz.

$$K_b = K_t$$

PRUEBA # 3. Torque:

La constante del torque se puede encontrar buscando la referencia del motor por Internet, en un determinado caso que no esté pues la hallamos de la siguiente forma:

Pesamos el motor en una escala de gramos, (es muy importante la precisión, tomar tres decimas)... Como la inercia no depende de la geometría del motor, únicamente de la masa y de la longitud, entonces tomamos la longitud y el peso y si el motor es circular pues tomamos la inercia de una barra circular, así:

$$I_{motor} = \frac{1}{3} ML^2$$

La masa es igual al peso/9.81, la longitud en metros.

PRUEBA # 4. Calculo de la inductancia del rotor (armadura):

Esta prueba es relativamente sencilla, simplemente le colocamos una carga al motor, puede ser una resistencia de potencia...esto se denomina plena carga...y medimos la corriente y la resistencia de la carga y esto es un circuito con una fuente, la resistencia y la corriente, con esto se calcula la inductancia como se ha visto en electrónica..

PRUEBA # 5. Constante de tiempo eléctrica:

$$\tau_m ; \tau_s = \frac{1}{2 * \pi * f_{b1,b2}}$$

Esta prueba se hace mirando la frecuencia de corte del 63.2% de la curva delevantamiento del motor, en un rango de 400 a 800 Hz. Pero una vez que tengamos la inductancia pues se ha determina la siguiente relación:

$$\tau_s = \frac{L_a}{R_a}$$

Y obtenemos el valor de la constante eléctrica.

PRUEBA # 6. Constante de tiempo mecánica:

La constante de tiempo mecánica es el tiempo que se toma en el 63.2% de subida de la función de transferencia hasta que se estabilice, pero si se ha hecho todas las pruebas anteriores entonces se tiene la siguiente relación:

$$\tau_m = \frac{J * R_a}{K_b * K_t}$$

Estas son las pruebas para moto-reductores y que se pueden reemplazar de acuerdo a la función de transferencia que se tenga.

Si la función de transferencia es de tercer orden se utilizan todas estas constantes, si la función de transferencia es de segundo orden se utilizan algunas de estas y si la función de transferencia es de primer orden solo se utiliza la constante de tiempo mecánica.

BIBLIOGRAFÍA

SHIGLEY, Joseph E. Diseño en ingeniería mecánica. Ed Mc GRAW-HILL. Edición sexta.

SCHAFFER James P. SAXENA Ashok. Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería. Ed Grupo Patria Cultural S.A. de C.V. 2000

STEPHEN J. Chapman. Maquinas eléctricas. Ed. Mc GRAW-HILL. Edición tercera.

Norma Técnica Colombian NTC 1486, Quinta actualización.

GONZALEZ G. Edwin, Trabajo de Investigación y prueba de ensayo-error de alta precisión de motores. 2007.

http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/gjaime/materias/control_de_motores/semA2004/clase1.pdf
Sep 8/07, 5:00 pm

<http://www.emagister.com/motores-corriente-continua-dc-cursos-807241.htm>
Sep 9/07, 12:30 pm

http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico
Sep 13/07, 6:20 pm

<http://www.monografias.com/trabajos11/prico/prico.shtml>
Sep 21/07, 11:40 am

Microsoft ® Encarta ® 2006. © 1993-2005 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.⁰⁰⁰⁰
Oct 12/07, 2:40 pm

<http://www.silge.com.ar/hojtec/eltra/si010es2.pdf>
Oct 30/07, 2:40 pm

<http://www.unet.edu.ve/~ielectro/GALGAS1.HTM>
Oct 30/07, 3:04

